UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: [662.613:621.311.22+
621.745.58] : 625.7/.8(043)

CHIRICUȚĂ ION

UTILIZAREA CENUŞILOR DE TERMOCENTRALĂ ŞI A ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE

211.02 "Materiale de construcţii, elemente şi edificii"

Teză de doctor în științe inginerești

Conducător ştiinţific: RUSU Ion
doctor habilitat în tehnică,
profesor universitar

Autor: CHIRICUȚĂ Ion

CHIŞINĂU, 2025

© Chiricuță Ion, 2025

CUPRINS

ADNOTARE.....6

АННОТАЦИЯ.....7

ANNOTATION……..8

LISTA TABELELOR.....9

LISTA FIGURILOR.....11

LISTA ABREVIERILOR.....13

INTRODUCERE.....14

1. STADIUL ACTUAL PRIVIND UTILIZAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ ȘI A ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE.....20

1.1. Tendința actuală privind valorificarea reziduurilor industriale și a deșeurilor menajere....20

1.2. Stadiul actual al utilizării cenuşilor de termocentrală în structuri rutiere.....27

1.3. Stadiul actual privind utilizarea zgurilor de oțelărie în structurile rutiere.....28

1.4. Situaţia actuală a unei halde de zgură din România.....30

1.5. Reziduurile de cenușă de la CET (Cuciurgan) și zgură metalurgică (Râbnița) din Republica Moldova.....32

1.6. Concluzii.....34

2. CARACTERISTICILE MATERIILOR PRIME ȘI METODELE DE CERCETARE PRIVIND ELABORAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPOZIȚIILOR MIXTURILOR ASFALTICE CU CONȚINUT DE CENUȘĂ DE TERMOCENTRALĂ ȘI ZGURĂ DE OȚELĂRIE.....35

2.1. Cenuşi de termocentrală: obținere, structură și proprietăți..... 35

2.2. Variația proprietăților cenuşilor de termocentrală în funcție de condițiile de depozitare..39

2.3. Metode de cercetare şi încercare pentru materiale folosite în structuri rutiere și pentru tronsoane de drumuri la care s-au utilizat cenuşi de termocentrală.....….....…..……....41

2.4. Zguri de oţelărie: obținere, structură și proprietăți 44

2.5. Zguri de oţelărie utilizate la realizarea structurilor rutiere.....47

2.6. Metode de încercare a materiilor prime folosite în structuri rutiere cu conținut de zguri de oţelărie .....….....….48

2.6.1. Determinarea stabilității cu aparatul Marshall……..……..……48

2.6.2. Determinarea deflexiunii caracteristice cu pârghia Benkelman.....50

2.6.3. Determinarea modulului de deformație cu placa Lucas.....51

2.7. Concluzii.....54

3. REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ PENTRU UTILIZAREA LOR ÎN STRUCTURI RUTIERE.....55

3.1. Încercări de laborator pe mixturi asfaltice cu adaos de cenuşi fine de termocentrală.....55

3.2. Teste realizate pe pista circulară a staţiei pilot pentru încercări rutiere……..…….....56

3.3. Cercetări privind impactul asupra mediului al structurilor ce conțin cenuși de termocentrală.....59

3.4. Rezultatele cercetărilor privind procesarea cenuşilor de termocentrală pentru îmbunătățirea proprietăților acestora.....61

3.5. Rezultatele cercetărilor privind combinarea cenuşilor fine de termocentrală cu diferiţi lianţi în vederea utilizării în structuri rutiere.....69

3.6. Rezultatele cercetărilor privind compactarea și optimizarea structurilor ce conţin cenușă de termocentrală.....72

3.7. Concluzii.....73

4. REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA ZGURILOR DE OȚELĂRIE PENTRU UTILIZAREA ACESTORA ÎN STRUCTURI RUTIERE.....74

4.1. Rezultatele încercărilor de laborator privind utilizarea zgurii de oţelărie în mixturile asfaltice.....74

4.1.1. Încercarea Marshall pe mixturi asfaltice tip BAD 25.....74

4.1.2. Încercări de laborator realizate pe zguri de oţelărie din Republica Moldova.....80

4.1.3. Încercări de laborator realizate pe carote din mixturi asfaltice.....81

4.2. Rezultatele încercărilor de laborator pentru realizare strat de fundaţie şi strat de bază cu zgură de oţelarie 81

4.2.1. Obiect şi domeniu de aplicare, descrierea lucrărilor şi a materialelor folosite.....81

4.2.2. Încercarea Proctor.....82

4.2.3. Încercarea Proctor modificată.....85

4.3. Încercări de teren realizate pe structuri rutiere ce conţin zguri de oţelărie.....88

4.3.1. Determinarea deflexiunii caracteristice cu pârghia Benkelman 88

4.3.2. Determinarea modulului de deformație cu placa Lucas 91

4.4. Utilizarea zgurilor de oțelarie la realizarea îmbrăcăminților asfaltice.....96

4.5. Concluzii 97

CONCLUZII GENERALE.....98
RECOMANDĂRI.....101
BIBLIOGRAFIE 102
BIBLIOGRAFIE (TRADUCERE).....114
ANEXE.....126
Anexa 1. Document care atestă participarea autorului la cel de-al XVI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri - Timișoara, 21-24 septembrie 2022.....126
Anexa 2. Certificat de conformitate a controlului producției în fabrică: Nr. CPF-233-2022 din 11.03.2022.....127
Anexa 3. Raport de incercări Nr. 196/2 din 01.03.2023.....128
Anexa 4. Raport de încercări pe zguri de oțelărie realizate la "CIPC INCERC TEST" SRL.....129
Anexa 5. Raport privind încercări pe carote din mixturi asfaltice ce conțin zguri de oțelărie....134
Anexa 6. Raport privind încercările pe zguri de oțelărie realizate la Societatea de Construcții în Transporturi București S.A., Caiet de sarcini și Document de avizare.....135
Anexa 7. Caracteristicile fizico-mecanice ale sorturilor de agregate din zgură de oţelărie: granulozitatea, coeficientul de neuniformitate, echivalentul de nisip, uzura Los Angeles, rezistența la îngheţ - dezgheţ și rezistenţa la strivire în stare uscată.....152
Anexa 8. Compozițiile granulometrice pentru toate rețetele analizate, compozițiile granulometrice ale amestecurilor de agregate, valorile caracteristicilor fizico-mecanice determinate pe epruvete cubice.....166
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....172
CURRICULUM VITAE.....173

ADNOTARE

Chiricuță Ion ”Utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere”, teză de doctor în științe inginerești.
Specialitatea: 211.02 - Materiale de construcții, elemente și edificii. Chișinău, 2025

Structura tezei: introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 137 titluri, 8 anexe, 101 pagini de text de bază, 50 figuri, 38 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 8 articole științifice.

Cuvinte-cheie: cenuși de termocentrală, zguri de oțelărie, agregate, structură rutieră, mediul înconjurător.

Scopul lucrării: argumentarea teoretică și confirmarea experimentală a posibilităților utilizârii în calitate de agregate a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la producerea mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

Obiectivele cercetării: studiul patento-bibliografic al proprietăților și posibilităților tehnico-economice de utilizare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere; optimizarea componenței și a proprietăților mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie pentru a fi utilizate în structurile rutiere; aprobarea rezultatelor studiilor și cercetărilor științifice în condiții de teren privind oportunitatea utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere.

Noutatea şi originalitatea ştiinţifică: constă în argumentarea științifică și confirmarea experimentală a utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere și analiza comparativă a diferitelor procese tehnologice de optimizare a proprietăților acestor reziduuri pentru valorificarea lor cât mai eficientă și elaborarea de noi rețete de mixturi asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea problemei științifice: constau în totalitatea de prevederi teoretice, rezultate ale cercetărilor științifice și încercări ce determină eficiența utilizării pentru producerea mixturilor asfaltice a cenușilor de termocentrală și zgurilor de oțelărie; confirmarea experimentală în condiții practice a rezultatelor studiilor teoretice ce au arătat eficiența utilizării cenușilor de termocentralelă și a zgurilor de oțelărie pentru producerea mixturilor asfaltice; rezultatele încercărilor de teren, realizate pe straturi rutiere, ce conţin cenuși de termocentrală și zguri de oţelărie.

Semnificaţia teoretică: constă în confirmarea prin rezultatele studiilor patento-bibliografice, cercetărilor științifice experimentale în condiții de laborator, încercări în condiții practice de teren, calculelor efectuate a eficienței utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie pentru prepararea mixturilor asfaltice pentru construirea structurilor rutiere și comparațiile între rezultatele obținute cu valorile caracteristicilor din normative, fapt care confirmă viabilitatea utilizării acestor reziduuri în structurile rutiere.

Valoarea aplicativă: constă în tehnologiile propuse de procesare a cenușilor de termocentrală și zgurilor de oțelărie pentru utilizarea ca agregate minerale pentru prepararea mixturilor asfaltice; tehnologiile propuse de producere a mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie; reducerea volumelor și a suprafețelor ocupate de reziduurile industriale, a răspândirii și influenței lor în mediul ambiant.

Implementarea rezultatelor ştiinţifice: rezultatele cercetărilor constituie o confirmare argumentată și utilă pentru elaborarea și optimizarea rețetelor de mixturi asfaltice cu conținut de cenușă de termocentrală și zgură de oțelărie și stabilirea condițiilor în care aceste reziduuri industriale pot înlocui cu succes agregatele naturale, cu posibilitatea aplicării acestora în practică, la tronsoane de drumuri realizate parțial sau integral din mixturi asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie.

АННОТАЦИЯ

Кирикуцэ Ион ”Использование зол теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в дорожных одеждах ”, диссертация на соискание ученой степени доктора по техническим наукам. Специальность: 211.02 – Строительные материалы, изделия и конструкции. Кишинэу, 2025

Структура диссертации: введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 137 наименований, 8 приложений, 101 страниц основного текста, 50 рисунков, 38 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 8-ми научных статьях.

Ключевые слова: зола теплоэлектростанций, шлак металлургический, заполнители, дорожная конструкция, окружающая среда.

Цель работы: теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможностей использования в качестве заполнителей золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов при производстве асфальтобетонных смесей для дорожных конструкций.

Задачи исследований: патентно-информационный поиск свойств и технико-экономические возможности использования зол теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в качестве заполнителей для выполнения дорожных одежд; оптимизация составов и свойств асфальтобетонных смесей, содержащих золы теплоэлектростанций и металлургических шлаков для их использования в дорожном строительстве; апробация результатов научных исследований в производственных условиях для подтверждения целесообразности использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в качестве заполнителей для строительства дорог.

Научная новизна и оригинальность результатов исследований: научное обоснование и экспериментальное подтверждение использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов в дорожном строительстве и сравнительном анализе различных технологических процессов оптимизации их свойств для эффективного использования и разработки новых рецептур дорожных одежд.

Научная значимость: полученных результатов заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении методик использования золы теплоэлектростанций и металлургических шлаков в дорожном строительстве, оказавших эффект замены природных материалов, для их последующего использования. в дорожном строительстве.

Теоретическая значимость: подтверждение результатами патентно-библиографических поисков, результатами научных исследований, испытаниями в полевых условиях и расчетами эффективности использования золы теплоэлектростанций и шлаков металлургических заводов для приготовления асфальтобетонных смесей для строительства дорог и сравнение полученных результатов со значениями из нормативных документов, что подтверждает целесообразность их использования.

Прикладное значение: заключается в предложенные технологии переработки зол теплоэлектростанций и металлургических шлаков для их использования в качестве заполнителей асфальтобетонных смесей; предложенные технологии производства асфальтобетонных смесей с содержанием зол теплоэлектростанций и металлургических шлаков; сокращение объемов и территорий для хранения промышленных отходов и их распространение и влияние на окружающую среду.

Внедрение научных результатов: результаты производственных испытаний являются аргументированным подтверждением для разработки и оптимизации рецептур асфальтобетонных смесей, содержащих шлаки металлургических заводов и золу теплоэлектростанций и установления условий, при которых эти промышленные отходы могут успешно заменять природные заполнители, с возможностью их применения на практике при строительстве дорог.

ANNOTATION

Chiricuță Ion "The use of power plant ash and steel mill slag in road structures", PhD thesis in engineering sciences.
Specialty: 211.02 - Construction materials, elements and buildings. Chisinau, 2025

Structure of the thesis: introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 137 titles, 8 Annexes, 101 pages of basic text, 50 figures, 38 tables. The obtained results are published in 8 scientific articles.
Key words: steel mill slag, power plant ash, aggregates, road structure, environment.
The purpose of the work: theoretical argumentation and experimental confirmation of the possibilities of using as aggregates the ashes of thermal power plants and steel mill slags in the production of asphalt mixtures for road structures.
The objectives of the research: the patent-bibliographic study of the properties and the technical-economic possibilities of using thermal power plant ashes and steel mill slag as aggregates for the construction of road structures; optimization of the composition and properties of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag for use in road structures; approving the results of studies and scientific research in field conditions regarding the opportunity to use power plant ash and steel mill slag as aggregates for the construction of road structures.
The scientific novelty and originality: consists in the scientific argumentation and experimental confirmation of the use of power plant ash and steel mill slag in the construction of road structures and the comparative analysis of the various technological processes for optimizing the properties of these residues for their most efficient utilization and the development of new recipes for asphalt mixes containing power plant ash and steel mill slag.
The obtained results that contribute to the solution of the scientific problem: consist of the totality of theoretical provisions, results of scientific research and tests that determine the efficiency of using power plant ash and steel mill slag for the production of asphalt mixtures; the experimental confirmation in practical conditions of the results of the theoretical studies that showed the efficiency of the use of power plant ash and steel mill slag for the production of asphalt mixtures; the results of field tests, carried out on road layers, containing power plant ash and steel mill slag.
The theoretical significance: consists in confirmation through the results of patent-bibliographic studies, experimental scientific research in laboratory conditions, tests in practical field conditions, calculations made of the efficiency of the use of thermal power plant ashes and steel mill slag for the preparation of asphalt mixtures for the construction of road structures and the comparisons between the results obtained with the characteristic values from the regulations, a fact that confirms the viability of using these residues in road structures.
The applicative value: consists in the proposed technologies for processing power plant ash and steel mill slag for use as mineral aggregates for the preparation of asphalt mixtures; the proposed technologies for the production of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag; reducing the volumes and surfaces occupied by industrial residues, their spread and influence in the environment.
Implementation of the scientific results: the research results constitute a reasoned and useful confirmation for the development and optimization of the recipes of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag and establishing the conditions in which these industrial residues can successfully replace natural aggregates, with the possibility of their application in practice, to road sections made partially or entirely of asphalt mixtures containing power plant ash and steel mill slag.

LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1. Compoziţia chimică a zgurii din halda Buituri.....31
Tabelul 1.2. Compoziţia chimică orientativă a zgurilor de furnal şi de oţelării [%].....31
Tabelul 2.1. Proprietăţile fizico-mecanice ale agregatelor minerale din zgură de oţelărie.....47
Tabelul 2.2. Valorile coeficientului t.....51
Tabelul 2.3. Deformaţia relativă de calcul în funcţie de tipul sistemului rutier.....52
Tabelul 2.4. Valorile de calcul ale modulului de deformaţie.....53
Tabelul 2.5. Valorile de calcul ale modulului de deformaţie pentru tipurile de balast.....53
Tabelul 3.1. Înlocuirea gradată a filerului cu cenușă.....55
Tabelul 3.2. Centralizarea rezultatelor.....56
Tabelul 3.3. Substanţe anorganice existente în CF provenite din diverși combustibili, mg/kg.....61
Tabelul 3.4. Compoziţia tipică a cenuşilor de cărbune şi turbă.....61
Tabelul 3.5. Proprietăţi geotehnice ale CF.....62
Tabelul 4.1. Stabilitatea la 60°C, daN.....74
Tabelul 4.2. Indicele de curgere, 0,01 mm.....75
Tabelul 4.3. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$.....75
Tabelul 4.4. Stabilitatea la 60°C, daN.....76
Tabelul 4.5. Indicele de curgere, 0,01 mm.....77
Tabelul 4.6. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$.....77
Tabelul 4.7. Stabilitatea la 60°C, daN.....78
Tabelul 4.8. Indicele de curgere, 0.01 mm.....79
Tabelul 4.9. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$.....79
Tabelul 4.10. Caracteristicile zgurilor, agregatelor concasate și agregatelor de balastieră.....82
Tabelul 4.11. Parametrii compactării.....83
Tabelul 4.12. Caracteristici de compactare.....83
Tabelul 4.13. Rezultatele obținute din diagrama Proctor 1.....84
Tabelul 4.14. Parametrii compactării.....84
Tabelul 4.15. Caracteristici de compactare.....84
Tabelul 4.16. Rezultatele obținute din diagrama Proctor 2.....85
Tabelul 4.17. Reţeta de preparare pentru agregate artificiale stabilizate.....86
Tabelul 4.18 Granulozitate.....87
Tabelul 4.19. Granulozitate.....87
Tabelul 4.20. Citiri și valori calculate (tronson km 0+500 : km 1+1000 Bd. Dacia).....89
Tabelul 4.21. Citiri și valori calculate (tronson km 0+250 : km 0+750 Calea Victoriei).....91

Tabelul 4.22. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 1.....92
Tabelul 4.23. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 2.....94
Tabelul 4.24. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 3.....95
Tabelul 4.25. Caracteristicile bitumurilor utilizate.....96
Tabelul 4.26. Caracteristicile bitumurilor utilizate.....97

LISTA FIGURILOR

Figura 1.1. Halda de zgură din Buituri, județul Hunedoara, ce prezintă pericol de alunecare.....30
Figura 1.2. Centrala electrică termică Cuciurgan Republica Moldova - vedere generală 32
Figura 1.3. Procesarea zgurii de oțelărie la uzina din Râbnița, Republica Moldova.....34
Figura 2.1. Fotografii ale particulelor de cenuşă realizate cu microscopul electronic……..……35
Figura 2.2. Granulometria cenușilor de termocentrală.....36
Figura 2.3. Capacitatea de compactare.....38
Figura 2.4. Capacitatea de sucțiune.....38
Figura 2.5. Efectul umectării şi depozitării asupra deformaţiei la efort pentru cenuşile CET.....40
Figura 2.6. Echipamente utilizate în realizarea testelor.....44
Figura 2.7. Presa Marshall……..……..49
Figura 2.8. Pârghia Benkelman.....50
Figura 2.9. Placa Lucas 52
Figura 3.1. Secțiuni transversale.....58
Figura 3.2. Variația eforturilor radiale în funcţie de modulele de elasticitate.....59
Figura 3.3. Instrumente geotehnice amplasate în structura testată.....60
Figura 3.4. Lisimetru şi conductă pentru apa subterană.....60
Figura 3.5. Rezistenţa la compresiune în funcţie de conţinutul de CaO activ.....62
Figura 3.6. Efectul conţinutului de apă asupra rezistenţei unor amestecuri cu CF.....63
Figura 3.7. Efectul compactităţii asupra rezistenţei unui amestec conţinând CF.....63
Figura 3.8. Efectul cantităţii de ciment adăugat asupra rezistenţei, în cazul a trei tipuri diferite de CF (câteva situaţii particulare).....64
Figura 3.9. Efectul unor lianţi (6%) asupra rezistenţei a trei CF, întărite timp de 28 de zile.....65
Figura 3.10. a. Procesul de cimentare al CF de haldă b Densitatea în vrac a CF de haldă.....66
Figura 3.10. b. Densitatea în vrac a CF de haldă (w = 23 – 26 %).....66
Figura 3.11. Efectul diferiţilor lianţi asupra solubilităţii metalelor grele din CF.....67
Figura 3.12. Modificarea rezistenţei unui amestec de cenuşă şi fibre vegetale prin variaţia cantităţii relative de cenuşă.....67
Figura 3.13. Deformaţie relativă modificată prin variaţia cantităţii relative de fibre Vegetale (FS).....68
Figura 3.14. Efecte produse de diferiţi lianţi asupra deformaţiei la efort a amestecului cu cenuşă.....68
Figura 3.15. Efecte produse de cantitatea de ciment asupra rezistenţei amestecului cu cenuşă....69
Figura 3.16. Diferenţele dintre proprietăţile unui amestec de gips şi cenuşă rezultat dintr-un

mixer convenţional (CON) şi respectiv dintr-un mixer de impact (IM).....69
Figura 3.17. Efectul compactităţii relative asupra creşterii rezistenţei unei cenuşi CET şi a unui amestec cenuşă - ciment.....70
Figura 3.18. Structura amestecurilor de gips - cenuşă realizate cu a) mixerul de impact (IM) şi b) mixerul convenţional (CON) Imagini obținute cu microscopului electronic.....70
Figura 3.19. Staţie de amestecare staţionară.....71
Figura 3.20. Utilaj de amestecare "Impact mixer" (prototip).....71
Figura 3.21. Testarea metodelor de compactare a CF.....72
Figura 3.22. Principiile de compactare a marginilor laterale ale drumului în construcţii CMR...72
Figura 4.1. Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 16-25 mm....74
Figura 4.2. Comparație între indicele de curgere determinat pe probe martor și cu zgură 16-25 mm.....75
Figura 4.3. Comparație între densitatea aparentă determinată pe probe martor și cu zgură 16-25 mm.....76
Figura 4.4. Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 8-16 mm.....76
Figura 4.5. Comparație între indicele de curgere determinat pe probe martor și cu zgură 8-16 mm.....77
Figura 4.6. Comparație între densitatea aparentă determinată pe probe martor și cu zgură 8-16 mm.....78
Figura 4.7. Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 8-16-25 mm.....78
Figura 4.8. Comparație între indicele de curgere pe probe martor și cu zgură 8-16 și 16-25 mm.....79
Figura 4.9. Comparație între densitatea aparentă pe probe martor și cu zgură 8-16 și 16-25 mm.....80
Figura 4.10. Diagrama Proctor 1 (variația densității cu conținutul de apă).....83
Figura 4.11. Diagrama Proctor 2 (variația densității cu conținutul de apă).....85
Figura 4.12. Diagrama Proctor modificată 1 (variația densității cu conținutul de apă).....86
Figura 4.13. Diagrama Proctor modificată 2 (variația densității cu conținutul de apă).....87
Figura 4.14. Diagrama Proctor modificată 3 (variația densității cu conținutul de apă).....88
Figura 4.15. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 1.....93
Figura 4.16. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 2.....94
Figura 4.17. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 3.....95

LISTA ABREVIERILOR

BAD = beton asfaltic deschis

C = ciment

CC - clorură de calciu ($CaCl_2$)

CEE - Centre for Environment Education

CET - centrale electrice și de termoficare

CF - cenuși fine de termocentrală

CFA - cenuși fine de termocentrală cu adaosuri

CON - mixer convenţional

CMR - construcții din materiale reciclabile

CTE - centrale termoelectrice

CV - coeficientul de variaţie

DBM - deflexiunea medie

DBM 20 - deflexiunea medie normală

DC - deflexiunea caracteristică Lacroix

DCB - deflexiunea caracteristică Benkelman

DF - deşeuri de filtru

EAF - zguri de cuptor cu arc electric

F - Finnstabi (produs brevetat finlandez)

IM - mixer de impact

L - CaO (oxid de calciu, var)

LD - procedeul Lintz – Donawitz

M - zgură de furnal

pH - aciditatea (sau bazicitatea) unei substanțe

R_c - rezistența la compresiune

RDG - reziduu de la desulfurizarea gazelor de ardere

SBM - abaterea medie pătratică

SB 20 - abaterea medie pătratică normală

SM - procedeul Simens-Martin

T - var hidratat

w - conținutul de apă

w_{opt} - conținutul optim de apă

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei abordate

În epoca modernă, dezvoltarea economică nu poate fi realizată fără o infrastructură de calitate. Totodată, investițiile în proiectele de infrastructură permit reducerea diferenței de dezvoltare economică dintre diferite state sau dintre diferite regiuni ale aceluiași stat, reduc nivelul inegalității sociale, facilitând interacțiunea dintre oameni și schimburile economice.

Pe măsura creșterii volumului mărfurilor transportate, a vitezei autovehiculelor și sarcinii pe osie a autovehiculelor, rețelele de drumuri s-au dezvoltat exponențial, iar realizarea acestora a devenit tot mai costisitoare. În prezent, datorită volumului extrem de mare de materiale naturale utilizate la realizarea structurilor rutiere, se impune tot mai acut necesitatea găsirii unor soluţii viabile de înlocuire a acestora cu materiale reziduale provenite din diferite ramuri ale industriei (construcții, energetică, metalurgie etc.), care se acumulează în cantități enorme, poluând mediul ambiant [1].

Rezultă astfel că utilizarea reziduurilor industriale este corelată cu folosirea raţională a resurselor naturale şi contribuie la rezolvarea multor probleme ecologice și economice. Pierderile anuale cauzate de poluarea mediului înconjurător cu reziduuri industriale în majoritatea statelor industrial dezvoltate reprezintă circa 10 % din volumul de producţie [2].

În statele industrial dezvoltate, cenuşile fine de termocentrală (numite în cuprinsul tezei cenuși de termocentrală sau cenuși fine - CF) și zgurile de oțelărie prezintă un volum considerabil. În 1999, în România, acesta a fost de 3,6 milioane tone [2]. Aceste reziduuri, în marea lor majoritate, sunt substanţe care au o influenţă negativă asupra ecologiei. Fiind răspândite în mediul înconjurător de către apele pluviale şi de cele provenite din topirea zăpezii, de către vânt etc., ele influenţează negativ solul, pădurile, plantele și apele.

Deşi anterior s-a demonstrat prin studii experimentale că zgurile de oțelărie pot fi utilizate în calitate de agregate naturale pentru producerea betoanelor, mortarelor si mixturilor asfaltice (total sau intr-un anumit procent) [3], imposibilitatea prelucrării acestora în vederea îmbunătăţirii caracteristicilor tehnice a diminuat interesul administraţiilor deşi, din punct de vedere economic, efortul financiar necesar era redus. În același timp, CET-urile existente nu sunt prevăzute cu suficiente spaţii de depozitare uscată a CF, aceasta fiind depozitată în aer liber, unde se umezește, pierzându-și din proprietăți. Practic, majoritatea CF este produsă în timpul iernii şi ar trebui depozitată în stare uscată pentru a putea fi apoi utilizată în construcţii rutiere, în timpul anotimpurilor cu temperaturi mai ridicate. [3].

Depozitarea altor deşeuri utilizabile, cum ar fi fibrele lemnoase şi fosfo-gipsul, nu cauzează atât de multe probleme ca CF, întrucât aceste materiale au un conţinut sporit de apă. De asemenea, condiţiile de umectare şi uscare nu au un efect prea important asupra proprietăţilor acestor materiale în cazul depozitării pe perioade scurte de timp [4].

În trecut, în România se produceau anual 13 milioane de tone de zgură, rezultate din procesele de obţinere a oţelului şi fontei [5]. Depozitarea lor în halde a pus serioase probleme de mediu, prin ocuparea unor mari suprafeţe de teren şi instabilitatea straturilor de haldare, ce ating grosimi de zeci de metri. De aceea a existat întotdeauna o preocupare pentru utilizarea cât mai eficientă a acestui reziduu. Aceste eforturi au condus la utilizarea aproape totală a zgurii de uzină metalurgică, mai ales ca material mineral în construcţii şi ca îngrăşământ [5]. Federația Rusă și-a modificat de curând legislația, pentru a impune utilizarea produselor secundare ca fiind obligatorie, cu intrare în vigoare de la 1 martie 2023 și pentru folosirea cenușii și a zgurii la reabilitarea terenurilor, cu intrare în vigoare de la 1 septembrie 2023.

Conform prevederilor agrementului tehnic nr. 004-07/666-2002, agregatele din zgură de oţelărie se pot utiliza pentru drumuri de clasa tehnică II - V sau străzi de categorie tehnică II – IV, în scopul reducerii costurilor de execuţie prin înlocuirea balastului pentru stratul de fundaţie şi a balastului stabilizat pentru stratul de bază [6].

Având în vedere aceste aspecte, teza de doctorat prezintă rezultatele cercetărilor referitoare la obţinerea, proprietăţile, procesarea şi utilizarea cenuşilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în compoziția straturilor rutiere (fundaţie, strat de bază şi îmbrăcăminte).

Sunt prezentate beneficiile utilizării cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, prin prisma caracteristicilor fizico-mecanice determinate prin încercări specifice realizate atât în laborator cât și pe teren, pe anumite tronsoane experimentale, în vederea elaborării unor rețete eficiente ce conțin aceste materiale și având ca scop final implementarea acestor tehnologii în practica uzuală.

Necesitatea utilizării zgurilor de oțelărie și a CF în straturile rutiere este impusă de beneficiile ce rezultă atât pentru protecția mediului ambiant, cât și din punct de vedere tehnologic și economic. Zgurile de oțelărie nu au influențe negative asupra mediului după punerea în operă, iar tehnologia de procesare a acestora nu implică transformări chimice, ci doar mecanice, la fel ca în cazul rocilor naturale. La rândul ei, CF poate aduce mari avantaje atunci când este folosită în structuri rutiere, fiind un material valoros și gratuit. Însă când este depozitat în halde, poate reprezenta un serios pericol pentru mediul ambiant. Compatibilitatea cu mediul a cenușilor de termocentrală a fost studiată pe scară largă în diferite țări [7]. Umpluturile realizate cu cenuși pe o suprafață întinsă din Maryland au dovedit, de asemenea, siguranța pentru mediu a

cenușilor. Grosimea medie a umpluturii a fost de 5 metri, iar cantitatea totală de cenușă a fost de aproximativ 15 milioane de tone [8].

Monitorizarea mediului pe amplasament timp de peste 15 ani a arătat că umplerea cu cenuși nu a afectat calitatea apei subterane de adâncime, iar substanțele levigaților care au fost eliberate din umplutură au fost preluate în sol sau în apele subterane superioare din imediata apropiere a locului de umplere. Mai multe construcții pilot, bazate pe amestecuri de cenuși din Finlanda, susțin rezultatele cercetării menționate anterior și concluzionează că cenușile prelucrate și utilizate corespunzător sunt sigure pentru mediu [8].

În Finlanda au fost studiate amestecurile de CF cu diferite fibre rezultate din industria hârtiei [9]. S-a demonstrat faptul că CF sunt componente adecvate pentru stabilizarea solurilor moi. Pentru această utilizare, CF au fost studiate și dezvoltate atât în Japonia, cât și în Finlanda. Asociatia Canadiană de Standardizare pentru CF (CSA A23.5) le clasifică în funcție de conținutul de CaO astfel: CF cu conținut scăzut de calciu având mai puțin de 8 % CaO, clasa medie având 8-20 % CaO și clasa cu conținut ridicat de calciu având mai mult de 20 % CaO. De exemplu, conform primei clasificări, cea mai mare parte a CF finlandeză se încadrează în categoria cu conținut scăzut de CaO.

Există multe studii care indică faptul că un mic adaos de var poate îmbunătăți semnificativ rezistența și durabilitatea materialelor cu CF. Un studiu efectuat în India a arătat că adăugarea de var până la 10% ar putea îmbunătăți rezistența acestora, după care nu mai există nicio îmbunătățire [10]. În studiul lui Berg și Bergeson [11], rezistențele a patru CF diferite stabilizate cu var au crescut brusc în primele 3 luni după stabilizare, după care dezvoltarea rezistenței a continuat mai lent timp de cel puțin un an. Reacțiile puzolanice probabil continuă atâta timp cât există var și apă libere disponibile în materialul stabilizat. Mai multe studii au arătat, de asemenea, că proprietățile cimentoide pe termen lung reprezintă cauza mecanismului de autoîntărire al unui strat de CF [12].

Scopul lucrării: argumentarea teoretică și confirmarea experimentală a posibilităților utilizarii în calitate de agregate a cenușilor de termocentralăți a zgurilor de oțelărie la producerea mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

Obiectivele cercetării:

- studiul patento-bibliografic al proprietăților și posibilităților tehnico-economice de utilizare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere;
- optimizarea componenței și a proprietăților mixturilor asfaltice cu conținut de cenuși de termocentrală și zgură de oțelărie pentru a fi utilizate în structurile rutiere;

- aprobarea rezultatelor studiilor și cercetărilor științifice în condiții de teren privind oportunitatea utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în calitate de agregate la realizarea structurilor rutiere.

Ipoteza de cercetare: studiul proprietăților cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie, pentru a identifica prin testări experimentale și aplicații practice posibilitatea și eficiența utilizării lor în calitate de agregate ale mixturilor asfaltice pentru structurile rutiere.

Sinteza metodologiei de cercetare

Caracteristicile materiilor prime pentru elaborarea și optimizarea proprietăților mixturilor asfaltice (gradul de compactare, rezistența la compresiune, capacitatea de retenţie a apei, rezistența la îngheț-dezgheț, permeabilitatea la apă şi lichide) au fost determinate conform prevederilor standardelor și normativelor în vigoare.

Încercările de laborator și cele realizate pe teren pe rețete de mixturi asfaltice, în care s-au înlocuit în diferite proporții agregatele naturale cu cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie pentru a compara rezultatele obținute cu cele din normative au fost îndeplinite conform prevederilor standardelor actuale: stabilitatea Marshall (conform SR EN 12697-34/2020), deflexiunea caracteristică (cu pârghia Benkelman, conform normativului CD 31/2002), modulul de deformație (cu placa Lucas, conform STAS 8942/3 - 90) și modulul de elasticitate (conform normativului AND 607/2014).

Încercările pe teren au fost realizate de autor cu susținerea laboratoarelor de încercări acreditate (a se vedea Anexele), cu echipament verificat metrologic ce a permis obținerea unor rezultate veridice.

Sumarul capitolelor tezei

În **Introducere** este argumentată actualitatea temei, descrisă situația actuală în domeniu, scopul şi obiectivele cercetării, ipoteza de cercetare, sinteza metodologiei, justificarea metodelor de cercetare alese şi sumarul compartimentelor tezei.

Capitolul 1 prezintă tendința actuală privind valorificarea reziduurilor industriale și a deșeurilor menajere, cât și stadiul actual privind utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere. Conține, de asemenea, un scurt istoric privind utilizarea zgurilor de oțelărie la realizarea structurilor rutiere, situaţia actuală a haldelor de zgură metalurgică din Buituri (România) și Râbnița (Republica Moldova) și situația haldei de cenușă de la termocentrala din Cuciurgan (Republica Moldova).

Capitolul 2 cuprinde informații privind obținerea, structura și proprietățile cenușilor de termocentrală și variația proprietăților cenuşilor de termocentrală în funcție de condițiile de depozitare și a zgurilor de oțelărie utilizate la realizarea structurilor rutiere și ale. Procesarea

cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie nu modifică proprietățile lor chimice, ci se referă doar la modificarea granulației zgurilor și la amestecul cenușilor cu diferiți aditivi. Totodată, prezintă metode de cercetare şi încercare pentru materiale folosite în structuri rutiere și pentru tronsoane de drumuri la care se utilizează cenuşi de termocentrală și zguri de oţelărie.

Capitolul 3 cuprinde încercări de laborator pe mixturi asfaltice cu adaos de cenuşi fine de termocentrală, teste realizate pe pista circulară a staţiei pilot pentru încercări rutiere, cercetări privind impactul structurilor ce conțin cenuși de termocentrală asupra mediului, procesarea cenuşilor fine de termocentrală în vederea optimizării proprietăților acestora, amestecarea cenuşilor fine de termocentrală cu diferiţi lianţi în vederea utilizării în structuri rutiere, compactarea și optimizarea structurilor ce conţin cenușă de termocentrală și sinteza și interpretarea rezultatelor.

Capitolul 4 cuprinde încercări de laborator privind utilizarea zgurii de oţelărie la realizarea mixturilor asfaltice, încercări de laborator pentru realizare strat de fundaţie şi strat de bază din zgură de oţelarie, încercări de teren realizate pe straturi rutiere ce conţin zguri de oţelărie, cercetări privind impactul asupra mediului al structurilor rutiere cu zguri de oțelărie, procesarea zgurilor de oţelărie în vederea utilizării în structuri rutiere și sinteza și interpretarea rezultatelor obținute.

În **Concluzii generale şi recomandări** se prezintă analiza, sinteza și avantajele rezultatelor experimentale obținute, precum și recomandări privind aplicațiile practice viitoare.

Autenticitatea prevederilor, concluziilor și recomandărilor științifice cuprinse în teza de doctorat sunt confirmate de rezultatelor studiilor teoretice, a încercărilor de laborator efectuate pe baza metodelor moderne de cercetare, folosind echipamentele de laborator metrologic verificate, oferind un nivel credibil de fiabilitate a rezultatelor. Autenticitatea recomandărilor privind tehnologiile de preparare a amestecurilor de beton asfaltic este confirmată de rezultatele experimentale ale încercărilor de teren realizate pe straturi rutiere.

În **Bibliografie** sunt prezentate materialele științifice analizate şi citate în teză.

Prezentarea rezultatelor cercetărilor științifice din cadrul tezei de doctorat.

Principalele prevederi ale tezei de doctorat au fost prezentate și discutate la:

- Al XIV-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 septembrie 2014, pag. 29. https://www.congresapdpromania.ro/prezentari/Raport_General_Tema_3.pdf ;
- Al XVI-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Timișoara, 21-24 sept. 2022 https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/46507 (Anexa 1);
- Conferinţa tehnico-ştiinţifică ”Problemele actuale ale urbanismului şi amenajării teritoriului”, Chişinău, 11-12 noiembrie 2010.

Publicaţii la tema tezei. La tema tezei de doctorat au fost publicate 8 articole ştiinţifice, din care: 5 articole în reviste internaționale recenzate; 5 articole ca singur autor în reviste și culegeri ale conferințelor internaţionale.

Structura și volumul tezei.

Teza este alcătuită din introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 137 titluri, 8 anexe, 101 pagini de text de bază, 50 figuri, 38 tabele.

1. STADIUL ACTUAL PRIVIND UTILIZAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ ȘI A ZGURILOR DE OȚELĂRIE ÎN STRUCTURILE RUTIERE

1.1. Tendința actuală privind valorificarea reziduurilor industriale și a deșeurilor menajere

Pe măsura creșterii volumului mărfurilor transportate și a vitezei autovehiculelor, rețelele de drumuri s-au dezvoltat exponențial, iar realizarea acestora a devenit tot mai costisitoare. În prezent, datorită volumului extrem de mare de materiale naturale utilizate la realizarea structurilor rutiere, se impune tot mai acut necesitatea găsirii unor soluţii viabile de înlocuire a acestora cu materiale reziduale provenite din diferite ramuri ale industriei (construcții, metalurgie, producerea maselor plastice etc.), care se acumulează în cantități enorme, poluând mediul ambiant.

Lumea contemporană se confruntă cu 3 mari provocări:

- accesul la resurse naturale limitate și utilizarea lor eficientă;
- protecția mediului, pe care deșeurile îl afectează semnificativ;
- impactul economic și social al deșeurilor și impactul acestora asupra sănătății.

Este semnificativ faptul că presiunea impusă de problemele de mediu și de diminuarea resurselor naturale a condus la apariția treptată și accelerată în timp a multor directive privind gestionarea deșeurilor acumulate pe globul pământesc, inclusiv, în Uniunea Europeană.

Astfel, prima directivă (75/442/CEE) [13] a fost elaborată în 1975, cea de-a doua (2006/12/CE) [14] în 2006, deci după 21 de ani, iar cea de-a treia (2008/98/CE) [15] în 2008, după doar 2 ani.

Justificarea elaborării directivei 2008/98/CE a constituit-o existența unui număr mare de reglementări cu impact asupra gestionării deșeurilor, ce trebuiau incluse într-un singur document coerent și actualizat.

Principalele concepte prezentate în documentele anterioare, cu relevanță în ceea ce privește gestionarea deșeurilor:

- în rezoluţia din 24 februarie 1997 referitoare la o strategie comunitară privind gestionarea deşeurilor [16], Consiliul Europei a confirmat faptul că prevenirea generării deşeurilor ar trebui să fie primul obiectiv al gestionării deşeurilor, precum şi că reutilizarea şi reciclarea materialelor ar trebui să fie preferată valorificării energetice a deşeurilor, în cazul şi în măsura în care acestea sunt cele mai bune opţiuni din punct de vedere ecologic;
- decizia nr. 1600/2002/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 22 iulie 2002 de stabilire a celui de-al şaselea program comunitar de acţiune pentru mediu [17] solicită extinderea sau revizuirea legislaţiei privind deşeurile, inclusiv o clarificare a diferenţei între ce

este deşeu şi ce nu este deşeu, precum şi extinderea măsurilor pentru prevenirea generării deşeurilor şi gestionarea acestora, inclusiv stabilirea de obiective;

- comunicarea Comisiei Europenme din 27 mai 2003, intitulată "Strategie tematică pentru prevenirea şi reciclarea deşeurilor" [18], a semnalat necesitatea evaluării definiţiilor actuale ale noţiunilor de valorificare şi eliminare, precum şi necesitatea adoptării unei definiţii general aplicabile pentru noţiunea de reciclare şi nevoia de dezbatere a definiţiei noţiunii de deşeu;

- în rezoluţia sa din 20 aprilie 2004 privind comunicarea menţionată anterior [19], Parlamentul European a invitat Comisia să ia în considerare extinderea la întregul sector al deşeurilor a Directivei 96/61/CE a Consiliului din 24 septembrie 1996 privind prevenirea şi controlul integrat al poluării [20];

- în concluziile sale din 1 iulie 2004, Consiliul a solicitat Comisiei să prezinte o propunere de revizuire a unor aspecte din Directiva 75/442/CEE [21], abrogată şi înlocuită de Directiva 2006/12/CE [22], pentru a clarifica diferenţa între ce este deşeu şi ce nu, precum şi diferenţa între valorificare şi eliminare;

- directiva 2006/12/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 5 aprilie 2006 privind deşeurile stabileşte cadrul legislativ pentru manipularea deşeurilor în cadrul Comunităţii. Aceasta defineşte noţiuni de bază, precum deşeuri, valorificare şi eliminare şi stabileşte cerinţele esenţiale pentru gestionarea deşeurilor, în special obligaţia pentru unitatea sau întreprinderea care efectuează operaţiuni de gestionare a deşeurilor de a deţine o autorizaţie sau de a fi înregistrată şi o obligaţie a statelor membre de a elabora planuri de gestionare a deşeurilor. Aceasta instituie, de asemenea, principii majore, cum ar fi obligaţia de a trata deşeurile într-o manieră care să nu aibă efecte negative asupra mediului şi sănătăţii populaţiei, încurajarea punerii în aplicare a ierarhiei deşeurilor şi, în conformitate cu principiul "poluatorul plăteşte", cerinţa conform căreia costurile de eliminare a deşeurilor să fie suportate de către deţinătorul deşeurilor, de către deţinătorii anteriori sau de către producătorii produsului din care derivă deşeurile respective.

Directiva cadru deșeuri 2008/98/CE a fost transpusă în legislația din România prin Legea nr. 211/2011 privind regimul deşeurilor [23], republicată, cu modificările şi completările ulterioare, iar în Republica Moldova prin Legea nr. 209 din 29-07-2016 privind deşeurile [24].

Această Lege preia în totalitate conceptele și imperativele prevăzute în Directiva cadru deșeuri 2008/98/CE și le adaptează situației specifice din Republica Moldova, stabilind competențe și obligații specifice ale ministerelor și autorităților locale în gestionarea deșeurilor.

Modificările şi completările aduse de Directiva UE nr. 851/2018 [25] directivei 2008/98/CE au condus la necesitatea înlocuirii Legii nr. 211/2011 prin Ordonanţa de urgenţă nr. 92/2021 privind regimul deşeurilor din 19 august 2021 [26].

Printre cele mai importante elemente introduse prin modificarea Legii nr. 211/2011 privind regimul deşeurilor se numără:

- obligații de creștere a procentului de cantități colectate separat și respectiv de valorificare a deșeurilor;

- imperativul respectării ordinii priorităților de prevenire a generării deșeurilor (ierarhia deșeurilor) atât în domeniul legislației, cât și în cel al politicilor publice, inclusiv prin măsuri economice de motivare / descurajare;

- extinderea responsabilității producătorilor de deșeuri;

- obligativitatea programelor de prevenire a generării deșeurilor și a planurilor de gestionare a lor la nivel național, regional și local;

- obligativitatea monitorizărilor și a raportărilor ierarhice în format electronic, inclusiv de la nivel național către Comisia Europeană, o dată la 3 ani;

- promovarea colaborării dintre administrațiile publice și producători;

- aplicarea integrală a principiului „poluatorul plătrește”, care se traduce prin suportarea tuturor costurilor legate de gestionarea deșeurilor de către cei care le produc sau / și de către cei care le dețin sau le-au deținut;

- înăsprirea sancțiunilor pentru contravențiile la prevederile legale [27].

Legislația actuală oferă definiții precise ale termenilor de bază și sintagmelor relevante pentru gestionarea deșeurilor, cele mai importante dintre acestea fiind:

1. Ierarhia deșeurilor. Sintagma este detaliată de către art. 4 - Ierarhia deșeurilor, al Ordonanţei de urgenţă nr. 92/2021 [26]. Ea se aplică prioritar în cadrul politicii şi legislaţiei de prevenire a generării şi de gestionare a deşeurilor: prevenirea şi reducerea cantităţilor de deşeuri; pregătirea pentru reutilizare; reciclarea; alte operaţiuni de valorificare, precum valorificarea energetică; eliminarea.

Aplicarea ierarhiei deşeurilor are ca scop încurajarea acelor opţiuni care produc cel mai bun rezultat global în privinţa mediului şi a sănătăţii populaţiei.

În acest sens, pentru anumite fluxuri de deşeuri specifice, aplicarea ierarhiei deşeurilor poate suferi modificări în baza evaluării de tip analiza ciclului de viaţă privind efectele globale ale generării şi gestionării acestor deşeuri.

Se remarcă faptul că reutilizarea și reciclarea deșeurile ocupă poziții principale în ierarhia acestora.

2. Subprodus. Termenul este detaliat de către art. 5 al Ordonanţei de urgenţă nr. 92/2021.

Este considerat subprodus, şi nu deşeu, potrivit definiţiei prevăzute la pct. 10 din anexa nr. 1, o substanţă sau un obiect care rezultă dintr-un proces de producţie al cărui obiectiv principal nu este producerea respectivei substanţe sau a respectivului obiect, dacă sunt îndeplinite cumulativ următoarele condiţii:

- utilizarea ulterioară a substanţei sau a obiectului este certă, fiind demonstrată prin existenţa unui contract ferm sau altă formă de garantare a utilizării acestuia pentru întreaga cantitate generată;

- substanţa sau obiectul poate fi utilizat direct, fără a fi supus unei alte prelucrări suplimentare decât cea prevăzută de practica industrială obişnuită;

- substanţa sau obiectul este produs ca parte integrantă a unui proces de producţie;

- utilizarea ulterioară este legală, şi anume substanţa sau obiectul îndeplineşte toate cerinţele relevante privind produsul, protecţia mediului şi protecţia sănătăţii pentru utilizarea specifică şi nu va produce efecte globale nocive asupra mediului sau a sănătăţii populaţiei.

Având în vedere definițiile de mai sus, putem considera că cenușile de termocentrală și zgurile de oțelărie trebuie considerate, de fapt, subproduse și nu deșeuri.

3. Valorificarea. Termenul, în sens larg, definește ansamblul operațiilor (altele decât cele de eliminare) prin care un deșeu devine din nou utilizabil sub diverse forme și înlocuiește astfel produse sau materiale noi. În această accepție și reciclarea este o formă de valorificare. În sens restrâns, valorificarea se limitează la a înlocui alte materiale. De exemplu, cenușile de termocentrală și zgurile de oțelărie ar putea înlocui agregatele naturale folosite la realizarea structurilor rutiere.

Decizia nr. 955/2014 de modificare a Deciziei 2000/532/CE de stabilire a unei liste de deşeuri [28] clasifică deșeurile în mod riguros și oferă codurile de identificare ale acestora:

- zgurile - Cod 10 02 deşeuri provenite din industria fierului şi oţelului;

- cenuși - Cod 10 01 deşeuri provenite din centrale electrice şi alte instalaţii de combustie.

Directiva nr. 851/2018 din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 2008/98/CE [29] prevede următoarele aspecte importante privind gestionarea deşeurilor:

- gestionarea deşeurilor în UE ar trebui să fie îmbunătăţită şi transformată în gestionarea durabilă a materialelor pentru a proteja, a conserva şi a îmbunătăţi calitatea mediului, pentru a proteja sănătatea umană, pentru a asigura utilizarea prudentă, eficientă şi raţională a resurselor naturale, pentru a promova principiile economiei circulare, pentru a spori utilizarea energiei din surse regenerabile, pentru a creşte eficienţa energetică, pentru a reduce gradul de dependenţă a

Uniunii faţă de resursele importate, pentru a crea noi oportunităţi economice şi pentru a stimula competitivitatea pe termen lung. Pentru ca economia să devină cu adevărat circulară, este necesar să se adopte măsuri suplimentare privind producţia şi consumul sustenabile, prin axarea pe întregul ciclu de viaţă al produselor, într-un mod, care conservă resursele şi închide bucla.

- utilizarea mai eficientă a resurselor ar aduce, de asemenea, economii nete substanţiale întreprinderilor, autorităţilor publice şi consumatorilor din Uniune, reducând, în acelaşi timp, emisiile anuale totale de gaze cu efect de seră;

- creşterea eficienţei în utilizarea resurselor şi asigurarea valorificării deşeurilor ca resursă poate contribui la reducerea dependenţei Uniunii de importul de materii prime şi poate facilita tranziţia la o gestionare mai sustenabilă a materialelor şi la crearea unui model de economie circulară. Tranziţia respectivă ar trebui să contribuie la realizarea obiectivelor de creştere inteligentă, durabilă şi favorabilă incluziunii stabilite în Strategia Europa 2020 şi la crearea de oportunităţi importante pentru economiile locale şi părţile interesate, contribuind în acelaşi timp la îmbunătăţirea sinergiilor dintre economia circulară şi politicile în materie de energie, climă, agricultură, industrie şi cercetare, şi în acelaşi timp generând beneficii pentru mediu în ceea ce priveşte reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră şi pentru economie.

Multe state membre nu au dezvoltat încă în întregime infrastructura necesară în materie de gestionare a deşeurilor. Prin urmare, este esenţial să se stabilească obiective clare de politică pe termen lung pentru a orienta măsurile şi investiţiile, în special prin prevenirea creării de capacităţi excedentare structurale în ceea ce priveşte tratarea deşeurilor reziduale şi blocarea materialelor reciclabile la nivelurile inferioare ale ierarhiei deşeurilor.

Pentru a promova utilizarea durabilă a resurselor şi simbioza industrială, statele membre trebuie să ia măsuri corespunzătoare pentru a facilita recunoaşterea ca subprodus a unei substanţe sau a unui obiect care rezultă dintr-un proces de producţie al cărui obiectiv principal nu este producerea respectivei substanţe sau a respectivului obiect, în cazul în care condiţiile armonizate stabilite la nivelul Uniunii sunt respectate. Comisia ar trebui să aibă competenţa de a adopta acte de punere în aplicare pentru a stabili criterii detaliate cu privire la punerea în aplicare a statutului de subprodus, acordând prioritate practicilor de simbioză industrială care pot fi reproduse.

Datele statistice privind gestionarea deșeurilor în Uniunea Europeană pot fi consultate pe portalul EUROSTAT [30].

Consultarea constantă a bazei de date statistice – atât cea națională cât și cea europeană- este indispensabilă tuturor decidenților, în vederea unei evaluări realiste a propriului context local și pentru definirea politicilor adecvate de gestionare a deșeurilor.

Datele sunt colectate de la statele membre, conform Regulamentului nr. 2150/2002 referitor la statisticile privind deșeurile [31]. Începând cu anul de referință 2004, regulamentul impune ca o dată la doi ani statele membre ale UE să furnizeze date privind generarea, valorificarea și eliminarea deșeurilor.

Cantitatea anuală de deșeuri din țările membre UE se situează în jurul valorii de 2,6 miliarde tone. De exemplu, în 2010, volumul total al deșeurilor generate de activitățile economice și de gospodăriile din UE - 27 a fost de 2,57 miliarde tone, din care 221 de milioane tone (8,6%) au fost deșeuri menajere, iar în 2021 acesta a depășit 2,6 miliarde tone [27].

De asemenea, Comunitatea solicită statistici comunitare periodice privind producerea și gestionarea deșeurilor provenite de la întreprinderi și gospodării, pentru a urmări punerea în aplicare a politicii privind deșeurile.

Politica comunitară privind deșeurile a stabilit o listă a principiilor care trebuie respectate de unitățile producătoare de deșeuri și de sectorul de gestionare a deșeurilor. Aceasta necesită monitorizarea deșeurilor în diferite puncte ale lanțului deșeurilor și anume în momentul producerii, colectării, recuperării și eliminării acestora.

Rezoluția Consiliului pentru Drepturile Omului al Organizației Națiunilor Unite nr. 48/13 din 8 octombrie 2021, intitulată „Dreptul omului la un mediu curat, sănătos și sustenabil” [32] prevede dezvoltarea durabilă, în cele trei dimensiuni ale sale (socială, economică și de mediu) și protecția mediului, inclusiv a ecosistemelor, contribuie și promovează bunăstarea umană și exercitarea drepturilor omului, inclusiv a drepturilor la viață, la a se bucura de cel mai înalt nivel posibil de sănătate fizică și mentală, la un nivel de trai adecvat, la o hrană adecvată, la locuință, la apă potabilă și canalizare și la participarea la viața culturală, pentru generațiile prezente și viitoare.

Dimpotrivă, impactul schimbărilor climatice, managementul și utilizarea nedurabile a resurselor naturale, poluarea aerului, solului și apei, gestionarea necorespunzătoare a substanțelor chimice și a deșeurilor au ca rezultat pierderea biodiversității și a beneficiilor oferite de ecosisteme. Ele ne împiedică să ne bucurăm de un mediu curat, sănătos și durabil, iar daunele aduse mediului au implicații negative, directe și indirecte, pentru exercitarea efectivă a tuturor drepturilor omului.

Cu aproape 4,6 milioane de tone de deșeuri depozitate din 7 milioane de tone de deşeuri generate anual, România ocupă penultimul loc în UE în privinţa ratei de reciclare a deșeurilor. Reciclăm doar 14%, spre deosebire de Germania, cu 68%, Polonia 35%, Ungaria 34%, iar exemplele pot continua [27].

În data de 5 ianuarie 2018 s-a publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 11 bis, Planul Național de Gestionare a Deșeurilor (PNGD), aprobat prin HG nr. 942/20.12.2017. Acesta este un document asumat la nivel național, dar nepurtător de decizii, prin care se recunoaște faptul că gestionarea deșeurilor este una din problemele critice cu care se confruntă România în prezent [33].

În PNGD, la capitolul „Legislația Națională privind deșeurile", nu se regăsesc acte normative naționale referitoare la Economia Circulară, cu toate că se fac referiri la Pachetul economiei circulare, adoptat în decembrie 2015 de Comisia Europeană.

Comisia Europeană a elaborat pachetul legislativ „Economia circulară" în care industria şi industrializarea deşeurilor ocupă un loc central. Acestea, în principal, constau în introducerea de rate de reciclare obligatorii pentru diferitele categorii de deşeuri, în baza obligaţiilor de Responsabilitate Extinsă a Producătorului în rândul companiilor care introduc pe piaţă bunuri ce rezultă ulterior în deşeuri. De asemenea, introducerea obligativităţii reproiectării produselor prin creşterea proporţiei materiilor prime provenite din reciclare şi creşterea gradului de reciclabilitate a produselor la finele ciclului de viaţă. Există un Codul European al Deşeurilor care vizează reconsiderări în industrie a unor deşeuri drept materii prime secundare. Tot aici intră și nevoia adoptării unor instrumente economice de promovare a reutilizării şi stimulare a simbiozei industriale şi a produselor mai ecologice.

În România lipsesc măsurile privind închiderea buclei economiei circulare naționale, vizând toate etapele ciclului de viață al unui produs, de la producție și consum, până la gestionarea deșeurilor și la piața materiilor prime secundare.

În PNGD nu este prevăzută în mod distinct, cu termene previzibile, adoptarea reglementărilor referitoare la intrarea semnificativă a României în Economia Circulară a Europei.

Economia circulară este expresia generică folosită în prezent pentru o economie industrială în care din perspectiva inginerească ciclul energiei și al materialelor este: a) biologic (componentele reintră în biosferă fără efecte negative) și b) tehnic (componentele sunt utilizate eficient, însă nu trebuie să mai intre în biosferă) [34].

Economia circulară înseamnă trecerea la o economie bazată pe reducerea consumului de energii și materii prime, în care deșeurile au destinații stabilite încă din fazele de proiectare, la cuprinderea lor în spirala ciclică a reutilizării.

De aceea, deșeurile / reziduurile care rezultă dintr-un proces de fabricație reprezintă materii prime pentru alte procese, ajungându-se, practic, la situații de producție cu un potențial practic nelimitat.

Tranziția către o economie circulară reprezintă o oportunitate de soluționare a bocajelor economice.

Economia circulară se bazează pe faptul că producţia de deşeuri pe plan mondial, până în 2050, ar putea ajunge la 2,7 de miliarde tone, iar în România, la 8,1 milioane de tone. Creşterea accelerată a volumului şi schimbarea caracteristicilor deşeurilor municipale se petrec în tendinţa şi corelaţia globală între urbanizare, generarea de deşeuri şi raritatea resurselor în economie, cu influenţe în Produsul Intern Brut în fiecare ţară, inclusiv în România.

Adoptarea următoarelor măsuri ar putea conduce la o implementare cât mai eficientă a conceptului de economie circulară:

- alocarea în structurile ministeriale a sarcinilor privind economia circulară;
- cuprinderea aspectelor legate de economia circulară în teoria, practica și normarea costurilor, cu elaborarea și aprobarea unor metodologii adecvate;
- cuprinderea acestora în bugetul public anual, la capitolul de inbestiții publice;
- acordarea de facilități investitorilor în infrastructuri și tehnologii aferente economiei circulare [34].

1.2. Stadiul actual al utilizării cenuşilor de termocentrală în structuri rutiere

Din multiple surse bibliografice, utilizarea cenușilor de termocentrală în construcțiile rutiere datează de peste 60 de ani. La început, a fost întâlnită pe scară extinsă în SUA, in deceniul al patrulea al secolului XX, iar apoi, începând cu deceniul al cincilea și în Europa de Vest (Franța, Belgia, Germania și Marea Britanie).

Nivelul de experiență și varietatea aplicațiilor diferă de la o țară la alta, de la lucrări de terasamente, ramblee, rampe la poduri, la tratarea pământurilor coezive ca straturi de formă sau a agregatelor naturale ca straturi de fundație și de bază din componența structurilor rutiere rigide și semirigide.

Iată două exemple recente.

În Anglia, drumul A 52 Froghall din Staffordshire a fost reabilitat prin înlocuirea vechii structuri rutiere, pe grosimea de 40 cm, cu un material nou constituit din agregatele granulare (5 - 20 mm) existente și adaugare de 12% cenușă fină, 3% var cu rol de liant și 27% nisip [35].

În Franța, drumul RN 47 Lens Lam Basse din districtul Pas de Calais a fost supralărgit pe lungimea de 7,5 km, utilizându-se circa 50 000 de tone de cenușă fină pentru stabilizarea agregatelor naturale din stratul de fundație (28 cm grosime) cu 13% cenușă și un strat de bază (22 cm grosime) cu 19% cenușă [36].

În România există, de asemenea, norme care reglementează utilizarea cenușii de termocentrală, atât în lucrările de terasamente, la umpluturi cât și la execuția straturilor din agregate naturale stabilizate, cenușa având rol de substituent parțial sau total al cimentului [37].

Conform Normativului pentru execuția terasamentelor rutiere din cenușă de termocentrală - CD 129/2013, cenușa de termocentrală face parte din categoria puzzolanelor artificiale, rezultate sub forma unor produse scundare la arderea în suspensie a cărbunilor energetici măcinați, din activitatea energetică a centralelor termoelectrice [37]. Cenuşile de termocentrală sunt utilizate pe scară largă în amestecuri de tip beton pentru structuri rutiere.

În funcţie de cărbunele utilizat la producerea cenuşilor, există două mari categorii de cenuşi cu aplicabilitate în acest domeniu: cenuşile bituminoase (puzzolanice), ce provin din arderea antracitului (sau a cărbunelui bituminos) şi cele sub-bituminoase sau lignitice (cu auto-întărire), provenite din arderea lignitului (sau a cărbunelui sub-bituminos) [38].

Cenuşile bituminoase sunt utilizate împreună cu un agent chimic sau activator (de obicei var, ciment Portland sau praf de furnal), agregate şi apă. Pentru majoritatea amestecurile ce utilizează agregate cu sorturi precis stabilite, cantitatea de cenuşă folosită variază în mod normal între 8 şi 20 %. Pentru agregate nisipoase, cantitatea de cenuşă poate creşte de la 15 până la 30 % din masa amestecului [39].

Cenuşile sub-bituminoase sau lignitice, în mod normal cu auto-întărire, datorită procentului crescut de oxid de calciu, nu necesită un agent chimic sau un activator, ci se amestecă doar cu apă şi agregat. Totuşi, datorită prizei rapide pe care o prezintă cele mai multe dintre aceste cenuşi, procentul de cenuşă din masa totală a amestecului poate fi de numai 5-15 %. Există şi situaţii în care cenuşile cu auto-întărire sunt utilizate pentru fundaţii rutiere fără aport de agregat [40].

1.3. Stadiul actual privind utilizarea zgurilor de oțelărie în structurile rutiere

În epoca romană, drumurile au fost clasificate în funcţie de principiul proprietăţii asupra lor şi de modul în care au fost construite, existând un sistem omogen de realizare a acestora care utiliza atât banii statului, cât şi pe cei ai comunităţilor locale şi ai persoanelor particulare.

Pe teritoriul din Dacia Romană au funcţionat aproximativ 5000 km de drumuri romane, o reţea cu adevarat impresionantă pentru acele vremuri. Tot în perioada Imperiului Roman, cu circa 2000 de ani în urmă, ce întâlnește folosirea zgurii de oțelărie în construcţia de drumuri, când zgura măcinată, provenită de la forjele din acea epoca, a fost utilizată în fundaţii rutiere [41].

În 1813 au apărut în Anglia primele porţiuni de drumuri cu zguri şi, doar şaptesprezece ani mai târziu, în această ţară s-a construit primul drum realizat integral din zgură [42]. Până în anul 1880, blocurile din zgură erau frecvent folosite pentru pavaj stradal în Europa şi Statele Unite [42]. Un mare oraş american cu o lungă istorie în pavarea străzilor cu zgură este San Juan, din Puerto Rico. Poate că prima apariţie a zgurii în istoria americană a survenit odată cu pelerinii, deoarece zgura a fost frecvent folosită ca balast de navele din acea perioadă [42].

În epoca modernă, valorificarea zgurilor de furnal înalt datează din anii 1900 (fundaţii de drumuri, construcţii geotehnice, etc.), utilizate atât ca atare, cât și în amestec cu alte produse naturale [43]. Încă din anii '40, Germania, principalul producator de fontă şi oţel, a început să utilizeze aceste produse în diferite domenii (în special în construcţii), impunând totodată cerinţe specifice de utilizare [43].

Proprietăţile acestora şi anume: densitatea aparentă, rezistenţa la sfărâmare, rezistenţa la compresiune, absorbţia de apă, rezistenţa la îngheţ - dezgheţ, rezistenţa la abraziune şi şlefuire, delimitează modul şi domeniul de aplicare a acestor materiale, denumite ”agregate artificiale”.

S-a estimat că pe plan mondial, începând cu anul 1978, mai mult de jumătate din producţia de zgură de oţelărie si-a găsit aplicaţia în construcţiile rutiere, astfel: straturi de bază 35 - 57 %; straturi de fundaţie 3 - 6 %; straturi bituminoase 7 - 13 %.

Germania, care este cea mai mare producatoare de oţel dintre statele europene, utilizează zgurile de oţelărie încă din anii 1974 (în prezent fiind utilizate în procent de 97 % din totalul producţiei) [44].

Datorită cercetărilor din ultimii 30 de ani, aproape 70 % din zgura provenită ca reziduu al cuptoarelor de oţelărie cu arc electric sau convertizoare este utilizată în domenii de aplicaţie calificate prin indeplinirea cerinţelor din standarde sau/şi reglementările naţionale sau internaţionale de profil [45].

În Germania, agregatele din zgură de oţelărie se utilizează frecvent pentru fundaţii stabilizate mecanic, execuţia de lucrări conexe ale drumurilor sau straturi de legătură şi de bază cu lianţi bituminoși, precum şi la execuţia de straturi de uzură cu mixturi asfaltice clasice sau speciale.

Analiza efectuată de Comitetul european pentru furnale - EBFS în 12 combinate siderurgice din Europa, ce a avut ca scop inclusiv investigarea şi implementarea utilizării zgurilor, a subliniat necesitatea măririi ariei de utilizare sau aplicare a acestora şi elaborării unor standarde europene comune care sa aibă la bază cercetări, norme şi instrucţiuni specifice fiecărei ţări [45]. În Romania, standardul EN 13043-2003 - Agregate pentru amestecuri bituminoase [46] reglementează utilizarea acestor zguri. În multe ţări europene zgurile de oţelărie au fost utilizate

cu succes ca materiale de construcţie pentru drumuri, atât în straturile de fundaţie şi de bază cât şi în straturile superioare ale stucturii rutiere [47].

1.4. Situaţia actuală a unei halde de zgură din România

În România există mai multe halde de zgură: Saturn din Alba Iulia; Liberti din Galați; Feral S.A. Tulcea; Mintia-Deva din Hunedoara etc.

Pentru a evidenţia potenţialul economic al unei zone de haldare, cât şi pentru a crea o imagine asupra modificărilor pe care aceasta le provoacă mediului ambiant, este prezentată una din haldele de zgură existente în România, şi anume halda Buituri (Figura 1.1).

Fig. 1.1. Halda de zgură din Buituri, județul Hunedoara, ce prezintă pericol de alunecare

Formarea haldei a început în anul 1967 odată cu primele depuneri de zgură de pe valea Hărăoani, depuneri ce s-au realizat pornind de la o cotă medie de teren de 255 m. Odată cu atingerea cotei de haldare de 321,93 m şi creşterea gradului de instabilitate a haldei de zgură a apărut necesitatea extinderii zonei de haldare pe un nou amplasament. Pentru asigurarea stabilităţii terenului din zonă s-au executat lucrări de amenajare constând în construcţia unor pinteni de susţinere la piciorul haldei şi lucrări de gospodărire a apelor, prin realizarea unor şanţuri şi drenuri de colectare a apelor pluviale [48].

În prezent, cota maximă de haldare este în medie de 340 m iar halda de zgură este extinsă pe o suprafaţă de cca. 80 ha, însumând cca. 50 mil. m^3, adică cca. 150 mil. tone de zgură. Înălţimea haldei nu este uniformă pe toată suprafaţa ocupată, treptele având înălţimi cuprinse între 5 şi 50 m şi lăţimi de 20 - 150 m.

Structura haldei de zgură este variată şi neuniformă, masa de zgură fiind alcătuită din cca. 70 % zgură de oţelărie, cca. 30 % zgură de furnal, impurificări cu spărturi de cărămidă refractară şi resturi de oţel neselectat la halda, sau antrenat mecanic sub formă de stropi în zgură [48].

În urma prelevării de probe din halda de zgură Buituri, 10 probe au fost considerate semnificative, fiind prezentate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1. Compoziţia chimică a zgurii din halda Buituri [48]

Compus,% / **Proba**	**Fe_I**	**FeO**	**Fe_2O_3**	**Fe_{II}**	**SiO_2**	**MnO**	**Al_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**S**	**P**
1	21,24	12,22	8,4	5,95	17,2	6,42	8,92	31,26	9,63	0,22	0,5
2	20,21	14,8	4,2	5,87	19,46	6,8	7,62	34,14	8,72	0,13	0,4
3	17,84	10,21	4,13	7,87	19,18	7,15	6,17	36,25	8,05	0,17	0,55
4	22,17	12,51	4,38	9,74	18,81	7,14	5,68	35,7	8,21	0,12	0,48
5	19,56	9,88	5,18	8,32	17,56	6,08	8,01	36,52	9,11	0,18	0,53
6	21,35	11,42	7,47	7,32	17,01	7,02	7,64	39,3	9,1	0,13	0,46
7	20,08	12,35	6,12	6,28	18,56	6,86	7,08	35,36	8,37	0,14	0,51
8	15,37	9,25	5,86	4,15	19,35	6,36	3,81	47,16	11,05	0,35	0,75
9	16,45	10,12	6,35	4,22	18,06	7,37	4,06	48,56	10,73	0,38	0,81
10	21,03	11,52	7,35	6,39	18,62	7,11	6,35	38,77	9,01	0,15	0,58
Media	19,53	11,39	5,94	6,66	18,38	6,83	6,53	35,3	9,2	0,2	0,56

Prin comparaţie s-a constatat că toate cele 10 probe, deşi au fost prelevate din locuri diferite (atât de pe platou cât şi de pe versanţi) reprezintă probe din zgură de oţelărie, ceea ce vine în sprijinul ideii că ponderea în structura haldei o reprezintă zgura de oţelărie (cca. 70 %).

Practic aceeași componență chimică o au și zgurile din alte halde din România.

În Tabelul 1.2 se prezintă compoziţia chimică orientativă pentru zgurile de furnal şi cele de oţelărie (obținute prin procedeul Siemens - Martin, în cuptor cu arc electric sau în convertizor).

Tabelul 1.2. Compoziţia chimică orientativă a zgurilor de furnal şi de oţelării [%] [48]

Nr. crt.	**Compus** / **Provenienţa zgurii**	**SiO_2**	**CaO**	**Al_2O_3**	**MgO**	**CaS**	**MnO**	**FeO**	**FeA**
1	Furnal	34	45	8	6	3	11	0,7	0,5
2	Siemens - Martin	19	41	7	10	-	10	13	4
3	Arc electric	20	52	5	9	-	10	1	4
4	Convertizor	19	44	2	10	-	10	12	5

Se constată faptul că cea mai mare pondere o au SiO_2 și CaO, care, împreună, reprezintă între 60 și 79 % din masa totală, în timp ce restul componentelor au o pondere mai mică de 11%.

Cantitatea de zgură estimată este de cca. 70 milioane t, din care SC GRAMPET SA Bucureşti şi-a propus să proceseze 15 milioane t într-o perioadă de 15 ani [48]. Cantitatea de zgură haldată, structura haldei şi probele prelevate, se estimează la cantitatea de circa

0,7 x 150 000 000 x 0,067 = 7 000 000 t fier metalic (sub formă de scoarţe, şpan, scurgeri, stropi).

Prin procesarea zgurii excavate din halda Buituri se pot obţine următoarele subproduse:

- fier vechi recuperat din masa procesată cca. 6,5 % cu o puritate de aproximativ 85-90%, partea rămasă (15%) trebuind procesată înainte de introducerea în cuptor;

- zgura brută recuperată, ce reprezintă 78,5 % din zgura procesată. S-a luat în calcul că 6,5% este procentul de fier vechi iar 15 % sunt pierderi tehnologice.

Produsele finite obţinute din zgură prin procesare şi modul de utilizare a acestora sunt:

- zgura feritizată 10 %, folosită în procese metalurgice;

- zgura deferizată cca. 68,5 %, utilizată în construcţii civile (3 %) industria cimentului (6 %), construcţia de şosele (1 %), construcţia de autostrăzi (90 %).

1.5. Reziduurile de cenușă de la CET (Cuciurgan) și zgură metalurgică (Râbnița) din Republica Moldova

Potrivit informației din sursele bibliografice [49] la CET de la Cuciurgan, cărbunele nu a mai fost utilizat drept combustibil în ultimile minim două decenii (Figura 1.2), iar din 2005 nu a mai fost adusă cenușă sau zgură în haldă. Necătând la faptul că cenușa nu mai este utilizată, aceasta dăunează mediului și sănătății umane.

Nu există o informație mai actuală despre cantitatea totală de cenușă și zgură acumulate la depozitul de decantare. Din documentația disponibilă [49] se știe că, în perioada 2002-2004, au fost depoziotate 711.750 mii tone de cenușă și zgură. Conform calculelor preliminare, peste 41,6 mii tone de praf de cenușă și zgură sunt emise anual în mediul înconjurător, fiind transportate de vânt care influențează solul, apele, plantele, ființele umane. Irigarea deșeurilor de cenușă acumulate nu este efectuată. Depozitul de cenușă și zgură al centralei electrice termice de la Cuciugan este, de fapt, abandonată și ocupă o suprafă de 272,8 ha.

Fig. 1.2. Centrala electrică termică Cuciurgan Republica Moldova – vedere generală

În timpul funcționării, regimul de depozitare a reziduurilor a fost încălcat. Apa contaminată este drenată în canalul ocolitor, care se varsă în râul Cuciurgan, afluentul stâng al râului Turunchuk din bazinul râului Nistru. Întreprinderea nu a închis depozitul în mod corespunzător și nu a efectuat recuperarea terenurilor utilizate.

Funcționarea depozitului Centralei termoelectrice de la Cuciurgan este legată de următoarele probleme*:*

- statutul nerezolvat al haldei de cenușă al Centralei.

- exploatarea haldei de cenușă și zgură se face cu încălcarea legislației de mediu (nu sunt îndeplinite cerințele tehnologice la umplerea secțiunilor, nu se irigă deșeurile de cenușă și zgură, care poluează suplimentar aerul atmosferic și solul);

- centrala termoelectrică de la Cuciurgan folosește în mod special resursele de apă ale rezervorului Cuciurgan și evacuează deșeurile din rezervor în râul Turunchuk, ceea ce afectează negativ situația ecologică din regiune;

- centrala nu plătește o taxă pentru poluarea mediului și nu există permise pentru emisiile de poluanți în atmosferă, eliminarea deșeurilor;

- conform unei investigații privind nivelul radiațiilor efectuat pe un teren ocupat de deșeurile industriale ale Centralei termoelectrice de la Cuciurgan, realizat de specialiști ai Departamentului de Igienă Radiațională a Serviciului Sanitar și Epidemiologic de Stat din Regiunea Odessa, s-a constatat o depășire de 2-3 ori de fond gamma (14 μR/oră) în comparație cu media specifică regiunii [49].

În Republica Moldova, SRL "RADICAL" a început procesarea zgurii de oțelărie de la uzina metalurgică din orașul Râbnița (Figura 1.3). Reprezentanții SRL "RADICAL" au confirmat că procesarea zgurii va permite obținerea unui material de calitate pentru repararea și construcția drumurilor. În același timp, procesarea zgurii asigură un proces tehnologic ce exclude apariția rezuduurilor la producerea oțelului. Instalația de concasare și sortare are o productivitate de 50 de tone de zgură pe oră și la nevoie ar putea fi mărită până la 80 t/h [47].

KTC EUROPA SRL a certificat procesul tehnologic de prelucrare a zgurii și a obtinut CERTIFICATUL de conformitate a contrulului productiei în fabrică cu Nr. CPF-233-2022 din 11.03.2023 (Anexa 2). Rapotul de încercări Nr. 196/2 din 01.03.2023 (Anexa 3), eliberat de "Centrul de Încercări Expertiză și Cercetare" (CIEC) din cadrul "CERTMATCON" SRL a confirmat conținutul de radionuclizi (A_{eff}, Bq/kg) în cantitate de 68,3 ceea ce este mult mai mic decat cantitatea admisibilă (300 Bq/kg) prevăzută de GOST 30108-94, pct. 4.2. Raportul de încercări nr. 41 din 17.03.2023, eliberat de "CIPC INCERC TEST" SRL (Anexa 4) a confirmat corespunderea proprietăților zgurii de oțelărie prevederilor standardelor în vigoare.

Fig. 1.3. Procesarea zgurii de oțelărie la uzina din Râbnița, Republica Moldova

1.6. Concluzii

1.6.1. În conformitate cu Rezoluția adoptată de Consiliul pentru Drepturile Omului al ONU în 8 octombrie 2021, intitulată "Dreptul la un mediu curat, sănătos și durabil" [32], care prevede diverse măsuri privind cercetarea, inovarea și educația, limitarea volumului reziduurilor industriale, a deșeurilor menagere și poluării mediului ambiant, este importantă punerea în aplicare și asigurarea respectării legislației prin indeplinirea cercetărilor științifice privind utilizarea diferitelor deșeuri industriale și reducerea cantităților lor.

1.6.2. Cenușile de termocentrală și zgurile de oțelărie sunt produse în cantități de ordinul milioanelor de tone anual, în procesele de obținere a energiei electrice/termice și, respectiv, a oțelului. Aceste reziduuri sunt generate în mod continuu și fiind depozitate în halde formează, cu timpul, forme de relief artificiale, influențează negatiov mediului înconjurător și generează costuri enorme de întreținere.

1.6.3. În conformitate cu legislația prezentată în subcapitolul 1.1, este necesar ca aceste reziduuri/subproduse să fie valorificate în mod eficient, prin reutilizare/reciclare, care constituie o opțiune principală în ierarhia gestionării deșeurilor, dar nu prin eliminarea (depozitarea) acestora - soluție care se află pe ultimul loc în această ierarhie și este total nerecomandabilă.

1.6.4. Experiența existentă, rezultatele cercetărilor științifice și recomandările din unele state, unde cenușa de termocentrală și zgurile de oțelărie se folosesc în cantități comparativ mari la prepararea și utilizsarea mixturilor asfaltice, nu pot fi preluate integral și utilizate deoarece proprietățile acestor reziduuri diferă esențial între ele în funcție de materia primîă din care sau format, componența chimică a lor, tehnologiile de producere, condițiile de depozitare etc. Deaceea pentru fiecare tip de aceste reziduuri sunt necesare cercetări științifice, elaborare și optimizare a mixturilor asfaltice cu utilizarea lor, aprobații experimentale și practice etc.

2. CARACTERISTICILE MATERIILOR PRIME ȘI METODELE DE CERCETARE PRIVIND ELABORAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPOZIȚIILOR MIXTURILOR ASFALTICE CU CONȚINUT DE CENUȘĂ DE TERMOCENTRALĂ ȘI ZGURĂ DE OȚELĂRIE

2.1. Cenuşi de termocentrală: obținere, structură și proprietăți

Cenuşa de termocentrală prezintă un rezuduu industrial larg răspândit în prezent, ce rezultă din procesul tehnologic de calcinare a cărbunilor, în camere de ardere, pentru obţinerea de energie termică, în general sub formă de pulbere [50]. Particulele mai grele de cenuşă (numită cenuşă granulară sau zgură) se depun pe partea sedentară a camerei de ardere [51]. Cele mai uşoare, care formează cenuşa fină, rămân suspendate în gazele de ardere, de unde sunt colectate prin filtre electrostatice sau alte metode de purificare a acestora, înainte de a fi eliberate în atmosferă [52].

În funcţie de natura cărbunilor şi de condiţiile de ardere, cenuşile de termocentrală pot avea o culoare variabilă, de la gri deschis până la brun. Nuanţele de gri, mergând până la negru, indică o creştere a concentraţiei de carbon, în timp ce brunul este un indicator al conţinutului de var şi/sau calciu. În funcţie de locul de captare, la arderea cărbunilor rezultă zguri, cenuşă grosieră şi fină. Ultimele două tipuri se prezintă sub formă de pulbere cu suprafeţe specifice cuprinse între 2000 şi 5000 cm^2/g şi cu o largă paletă a repartiţiilor dimensionale. Ca aspect exterior ele se prezintă sub formă de pulberi compacte şi apar ca sfere microporoase la microscopie optică (Figura 2.1 a), respectiv ca sfere sticloase sau cavernoase la microscopie electronică (Figura 2.1 b) [53].

Pentru o apreciere reală a formei particulelor poate fi utilizată microscopia electronică, ce furnizează date care pot explica diferenţele de comportare sub raport fizico-chimic şi hidraulic ale cenuşilor. Astfel de investigaţii au fost realizate de pildă la CEE (Anglia) (Figura. 2.1 c).

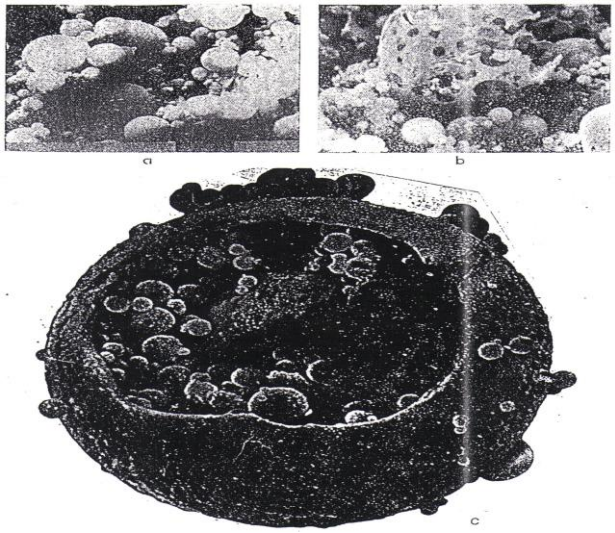


Fig. 2.1. Fotografii ale particulelor de cenuşă realizate cu microscopul electronic [53, p. 89]

Formele sferice ale particulelor de cenuşă sunt avantajoase, întrucât ameliorează lucrabilitatea mortarelor şi betoanelor din cimenturile cu adaosuri [54]. La măcinarea în clincher, formele sferice se distrug, devenind poliedrice, cu implicaţii defavorabile asupra mobilităţii, plasticităţii şi coeziunii mortarului din beton [55].

Principalele caracteristici, care apreciază proprietățile cenusilor sunt: granulozitatea şi suprafaţa specifică; solubilitatea în apă; umiditatea; activitatea puzzolanică; fineţea de măcinare; conţinutul de impurităţi; rezistenţa la uzură; capacitatea de compactare; capacitatea de sucţiune; comportarea la gelivitate; permeabilitatea la apă şi lichide.

Din punct de vedere granulometric cenuşile de termocentrală se înscriu în limite largi (Figura 2.2). Zonele granulpmetrice sunt mai restrânse pentru cenuşile fine captate la electrofiltre cu suprafață specifică mare, care satisfac condiţiile pentru utilizarea lor ca adaosuri în cimenturi şi betoane [56]. Cenuşile semifine şi grosiere evacuate în halde îşi găsesc în prezent o aplicabilitate restrânsă, datorită activităţii hidraulice mai reduse şi umidităţii variabile [57].

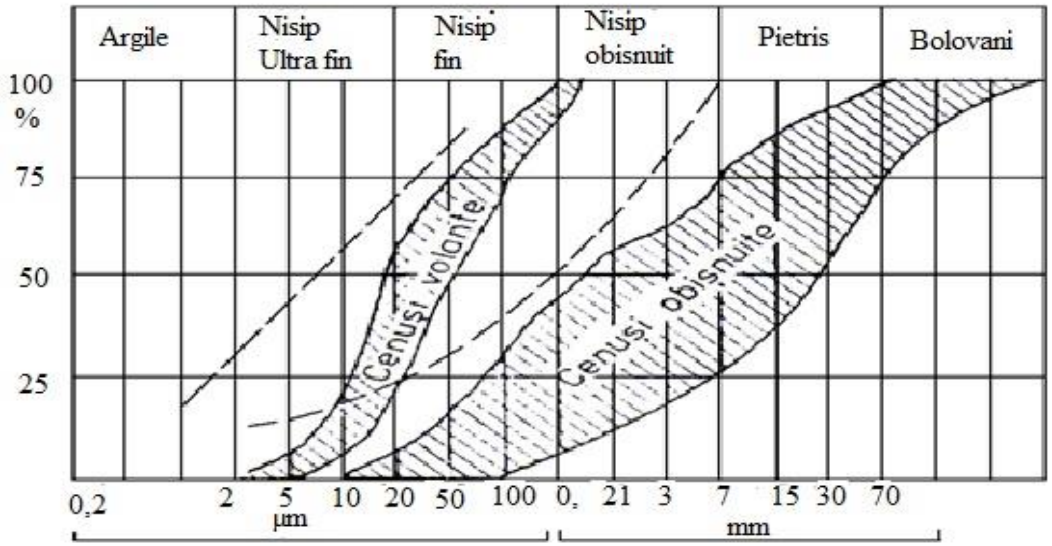


Fig. 2.2. Granulometria cenuşilor de termocentrală [53, p. 90]

Solubilitatea în apă prezintă proprietatea fizică cea mai des luată în considerare în cazul utilizării cenuşilor în amestecuri de tip beton, prezentată în ASTM C593-89 [58], care impune un procent solubil în apă de maximum 10%.

În cazul utilizării cenuşilor colectate prin metoda umedă este necesară determinarea umidității acestora în vederea utilizării în amestecuri, verificând dacă acest parametru se înscrie în limitele admise.

Activitatea (sau reactivitatea) puzzolanică reprezintă una dintre cele mai importante proprietăţi ale cenuşilor, atunci când se are în vedere utilizarea lor în amestecuri de tip beton.

Activitatea puzzolanică este un indicator al capacităţii cenuşii provenită dintr-o anumită sursă de a se combina cu calciul pentru a forma compuşi cimentoizi. Activitatea puzzolanică a cenuşilor este influenţată de fineţea de măcinare, conţinutul de silicaţi şi aluminaţi, pierderea la calcinare şi conţinutul de substanţe alcaline [59]. Granulozitatea agregatelor utilizate şi activitatea puzzolanică a cenuşilor sunt factorii determinanţi ai rezistenţei amestecului rezultat. Metodele de testare a activităţii puzzolanice atât în prezenţa varului cât şi a cimentului Portland sunt prezentate în ASTM C311- 92a [60].

Fineţea de măcinare a cenușilor este reglementată de ASTM C593-89 [58], ce specifică faptul că 98% din masa de cenuşă utilizată trebuie să treacă prin sita cu ochiurile de 0.6 mm şi 70% prin cea cu ochiurile de 0.075 mm, cerinţe ce sunt îndeplinite de majoritatea cenuşilor existente [60]. În acelaşi normativ sunt oferite şi condiţii privind rezistenţa minimă la compresiune a amestecului var-cenuşă la 7 şi, respectiv, 21 de zile.

Cenuşile utilizate în amestecuri tip beton nu trebuie să satisfacă aceleaşi condiţii privind conţinutul de impurităţi ca cele folosite ca adaos în cimentul Portland. Prin urmare, conţinutul maxim de impurităţi nu constituie un criteriu pentru cenuşile untilizate în amestecuri de tip beton [61].

Rezistenţa la uzură a cenuşilor prezintă valori ridicate atât datorită conţinutului crescut de SiO_2 cristalin şi vitros, cât şi a suprafeţei specifice mari. Această caracteristică este foarte importantă pentru rezistenţa betonului rezultat, utilizat în regim de trafic rutier cu uzură pe termen lung [62].

Determinarea capacităţii de compactare prin metoda Proctor [63] pe cenuşi de la principalele CTE (Isalnita, Rogojelu, Doicești, Mintia) din România (Figura 2.3) permite să se constate următoarele aspecte:

- datorită caracterului hidrofil, cenuşile reţin uşor apa şi prezintă un grad de compactare mai ridicat decât nisipurile, cu o energie minimă;

- alura curbelor de compactare este atenuată, reflectând pentru cenuşi o interdependenţă redusă între umiditatea şi densitatea maximă. Compactitatea maximă reprezentată prin densitate este extinsă într-o zonă largă a umidităţii (de la 16% pentru cenuşile de la CTE Mintia și până la 33% la cele de la Rogojelu România).

Cenușile de termocentrale după proprietățile lor diferă în funcție de tipul, componența chimică și caracteristicile cărbunilor din care ele au provenit, tehnologiile de producere, condițiile de depozitare a lor etc., deaceea de fiecare dată pentru determinarea domeniului de utilizare a lor este necesar studiul aprofundat al proprietăților lor.

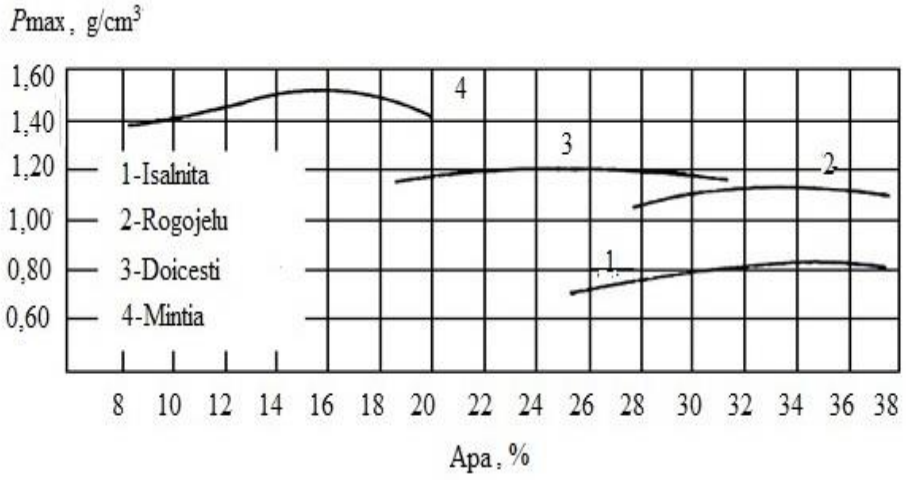


Fig. 2.3. Capacitatea de compactare [53, p. 91]

Capacitatea de sucţiune se determină conform STAS 9180/73 şi se poate defini prin diminuarea tensiunii capilare a apei din pori, în funcţie de presiunea atmosferică (Figura 2.4) [64].

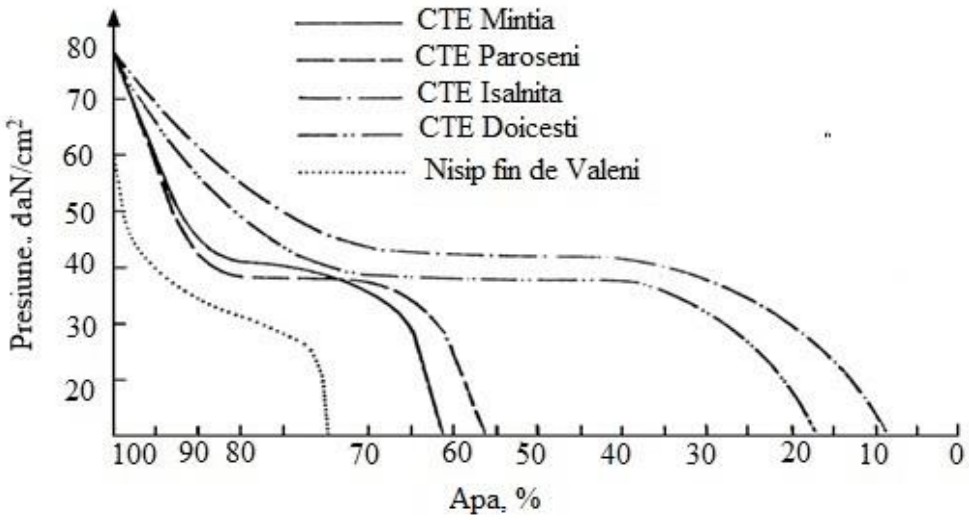


Fig. 2.4. Capacitatea de sucţiune [53, p. 92]

Se remarcă faptul că amestecul de cenuşă prezintă o porozitate capilară extinsă într-un domeniu larg, fapt ce se reflectă în caracterul cvasiplat al curbelor între 10% şi 7% apă. La dimensiuni reduse ale porilor (cvasigelici) apa este reţinută de forţe puternice, în timp ce la dimensiuni mari adsorbţia devine neînsemnată. Alura curbelor din Figura 2.4 atestă caracterul predominant al porilor capilari ce se formează între particulele de cenuşă. Acest fapt are efect negativ asupra proprietăţilor betoanelor, în ipoteza depăşirii unei cantităţi optime de cenuşă, situaţie în care rolul de microagregat devine predominant faţă de aportul hidraulic de întărire [65].

Comportarea la gelivitate a cenuşilor, apreciată pe baza studiilor lui Croney şi Andrieux [66] depinde esenţial de granulozitate. Profesorul român Nicolae Voina considera însă că o importanţă mai mare decât granulozitatea o prezintă raportul dintre porii capilari şi cei cavernoşi, precum şi conţinutul în substanţă nearsă (cărbune). Croney apreciază comportarea la gelivitate după creşterea în volum a cenuşilor în contact cu apa, clasificându-le în: foarte sensibile, puţin sensibile şi fără sensibilitate. Problema comportării la gelivitate este importantă, întrucât tendinţa folosirii cenuşilor ca adaos la betoane este parţial estompată tocmai datorită diminuării rezistenţei la îngheţ-dezgheţ a acestor materiale [67].

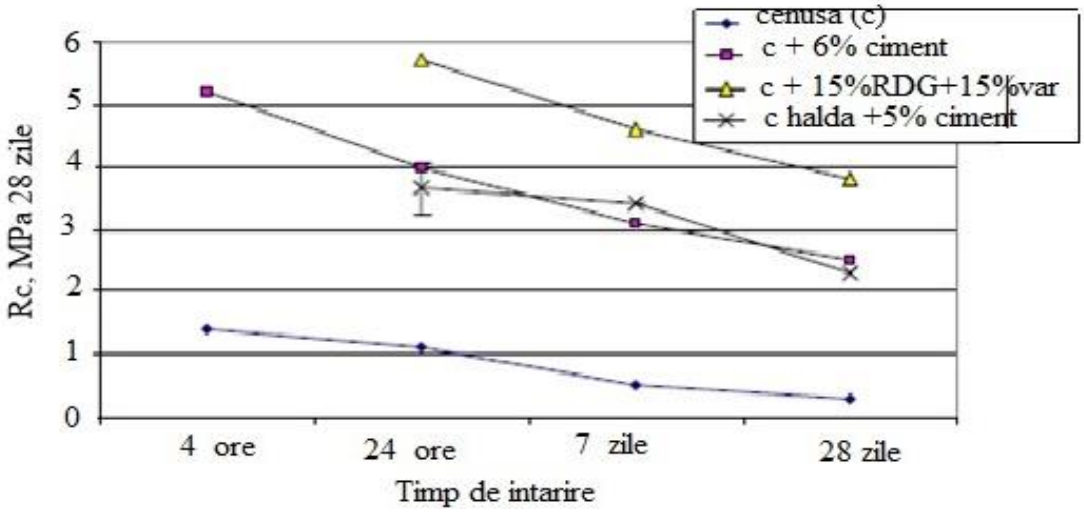
Studiind permeabilitatea cenuşilor la apă şi alte lichide inerte, Croney stabileşte o relaţie cvasi-liniară, în funcţie de densitatea acestora. Profesorul Nicolae Voina demonstrează că problema poate fi pusă şi prin prisma dependenţei permeabilităţii de suprafaţa specifică şi respectiv mărimea particulelor de cenuşă, între aceşti trei parametri existând o strânsă interdependenţă. Cenuşile grosiere posedă un coeficient de permeabilitate ridicat (3-7 x 10 cm/s), motiv pentru care se utilizează ca materiale de drenare, în timp ce particulele fine prezintă o permeabilitate scăzută, caracterizată printr-un coeficient de (0,04-1 x 10 cm/s). Această caracteristică este importantă la folosirea cenuşilor fine ca adaosuri în betoane cu efect atât hidraulic cât şi de microagregat [68].

2.2. Variația proprietăților cenuşilor de termocentrală în funcție de condițiile de depozitare

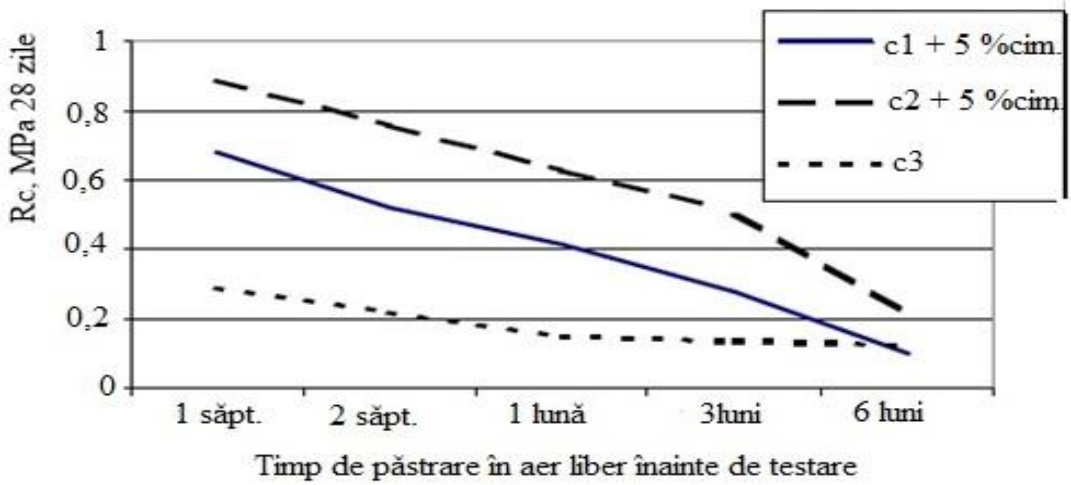
Proprietăţile cenuşilor CET variază considerabil în funcţie de tipul şi proprietăţile combustibilului din care au provenit, de tehnologia de ardere şi de condiţiile de depozitare [69].

Calitatea CF este în mod semnificativ influenţată de condiţiile de depozitare. Depozitarea uscată (de exemplu într-un siloz) nu are nici un fel de efect negativ asupra proprietăţilor cenuşilor CET. Dacă însă depozitarea se face în aer liber, cenuşa de haldă se umezeşte, ceea ce îi va afecta proprietăţile [70]. Acest lucru poate fi remarcat în Figurile 2.5 a şi 2.5 b, ce indică scăderea proprietăţilor de auto-întărire odată cu modificarea rezistenţei la compresiune. Cenuşa CET a fost mai întâi umezită şi apoi depozitată un anumit interval de timp, după care a fost amestecată cu un activator, atunci când acest lucru a fost necesar. Figura 2.5 a arată că rezistenţa la compresiune a scăzut în timpul primelor 28 zile după umectare, iar Figura 2.5 b arată că proprietăţile cimentoide se reduc gradat odată cu depozitarea în aer liber pe o perioadă mai lungă. În consecinţă, cenuşa CET depozitată în stare uscată trebuie să fie considerată un material total diferit de cea depozitată în haldă, chiar în condiţiile în care ambele provin din aceeaşi sursă.

Studiile de laborator, prezentate anterior, demonstrează faptul că cele mai bune proprietăţi sunt obţinute în cazul depozitării uscate a CF şi că reactivitatea chimică a materialelor scade direct proporţional cu perioada în care acestea sunt depozitate în stare umedă. În consecinţă, o condiţie preliminară importantă pentru implementarea unei utilizări extensive a CF în construcţii o constituie crearea facilităţilor de depozitare în stare uscată. Depozitarea CF constituie o problemă şi datorită faptului că aceasta îşi pierde din proprietăți atunci când este depozitată (îşi pierde structura de pulbere şi devine compactă).



a



b

Fig. 2.5. Efectul umectării şi depozitării asupra deformaţiei la efort pentru cenuşile CET: a) Depozitare în aer liber între 4 ore şi 28 de zile. Materiale întăritte în laborator. b) Depozitare în aer liber între 7 zile şi 6 luni. c1 şi c2 au fost prelevate direct din haldele existente iar c3 a fost realizată în laborator [70, p. 49]

2.3. Metode de cercetare şi încercare pentru materiale folosite în structuri rutiere şi pentru tronsoane de drumuri la care s-au utilizat cenuşi de termocentrală

Realizarea unui nou produs folosind amestecul cu cenuşi implică o serie de teste efectuate de-a lungul întregului proces tehnologic aferent.

Într-o primă etapă au fost determinate proprietăţile geotehnice de bază şi ponderea totală pe care o are fiecare din elementele anorganice conţinute în cenuşă. Rezultatele permit o primă evaluare privind riscurile potenţiale tehnice şi ecologice şi posibilităţile de control al acestora în cazul cenuşilor CET.

Datele obţinute s-au folosit în continuare pentru alegerea amestecurilor alternative, respectiv cenuşi plus lianţi şi alţi componenţi, pentru cel de-al doilea stadiu de optimizare (optimizarea amestecurilor) [71]. Această optimizare a urmărit determinarea unui amestec ce întruneşte criteriile de bază şi este un proces iterativ. Apoi s-au realizat teste selective pentru a determina anumite proprietăţi geotehnice critice, cum ar fi deformaţia la efort şi rezistenţa la îngheţ - dezgheţ.

Stadiul al treilea a implicat teste finale privind proprietăţile geotehnice şi de protecţie a mediului şi durabilitatea, realizate cu una sau cu câteva dintre cele mai bune alternative selectate anterior. Amestecurile de materiale care nu întrunesc aceste criterii pot fi îmbunătăţite (de exemplu prin adăugarea unui liant) şi testate din nou sau eliminate, atunci când există mai multe variante în acest stadiu [72].

Cele mai bune variante se testează în final în staţii pilot, pe lângă testele realizate în laborator. Deşi aceste teste sunt costisitoare şi de lungă durată, acesta este un stadiu necesar, în special atunci când nu există criterii stabilite oficial pentru omologarea structurii şi materialului testat sau normative care să reglementeze utilizarea respectivelor reziduuri industriale în construcţii [73].

În continuare sunt prezentate succint metodele de testare recomandate pentru amestecurile cu cenuşi folosite la structurile rutiere:

Gradul de compactare al unui material se calculează utilizând testul Proctor modificat [74]. Sa determinat simultan densitatea maximă în grămadă (în stare uscată) $Y_{d,max}$ şi conţinutul optim de apă al materialului.

Compactitatea relativă rezultată va fi:

$$D\,[\%] = (Y_d / Y_{d,max}) \times 100, \qquad (2.1)$$

în care Y_d este densitatea materialului

Pentru deerminarea rezistenţei la compresiune o probă cilindrică se supune la o presiune axială ce creşte gradat până când se produce ruperea acesteia (Figura 2.6 a). Deformaţia este de 1 - 2 mm/min. Dacă nu se produce o rupere semnificativă a probei, valoarea maximă a rezistenţei la compresiune se calculează pentru o deformaţie (modificare a înălţimii) de 10 % [75].

Capacitatea de retenţie a apei se determină prin păstrarea probei în apă timp de 7 zile, după o întărire prealabilă de minimum 21 de zile a acesteia. Se stabilește condiţia în care se află proba în timpul imersiunii, după care se măsoară rezistenţa la compresiune [76].

Determinarea sensibilității la îngheţ prevede compactarea unei probe într-un cilindru de plastic, iar testul se efectuează după 28 de zile şi după saturarea cu apă. Sensibilitatea la îngheţ se măsurată cu echipamente speciale ce permit ca partea superioară a mostrei să ajungă la – 3° C, iar cea inferioară să rămână dezgheţată (+ 1° C) şi să absoarbă apă prin capilaritate (Figura 2.6 b) [77]. La începutul saturării cu apă presiunea aplicată probei este de aproximativ 20 kPa. Aceasta poate varia de-a lungul testului, dar în mod normal se situează în jurul valorii de 3 kPa. Sensibilitatea la îngheţ se determină măsurând tasarea sau expansiunea probei, datorate îngheţului, de-a lungul unui anumit interval de timp [78]. Pe baza acestora se determină potenţialul de segregare, SP_0 [mm^2/h].

Rezistenţa la îngheţ se stabilește prin observarea condiţiilor specifice de înmuiere şi formarea de lentile şi prin determinarea rezistenţei la compresiune a probei după efectuarea testului de sensibilitate la îngheţ [79].

Detrminarea rezistenţei la ciclurile de îngheţ – dezgheţ prevede ca proba, întărită timp de 28 de zile, să fie plasată într-o cutie, deasupra unui strat capilar, prin care va fi absorbită apa. După 4 ore, proba se introduce într-un congelator, unde temperatura se coboară de la cea ambientală până la valoarea de - 18° C, unde va rămâne timp de 8 - 16 ore. Apoi, proba se răsucește cu 180° şi se plasează pe suprafaţa capilară pentru a se dezgheţa, după care etapele anterioare se repetă. Ciclul complet se realizează de 12 ori. Starea probei se examinează pe întreaga perioadă de desfăşurare a testului. În final, se determină rezistenţa la compresiune [80].

Permeabilitatea unui material reprezintă capacitatea acestuia de a permite unui fluid (în mod normal apă) să se infiltreze sau să curgă prin el.

Permeabilitatea cu perete rigid prevede că testul se realizează după o întărire a probei în tipare de plastic timp de cel puţin 28 de zile. După aceasta proba se trece la faza de infiltrare, în care apa va curge prin probă. La anumite intervale de timp, filtratul se colectează şi cântărește. Se calculează coeficientul Darcy de permeabilitate (K) [81].

Pentru determinarea permeabilității cu perete flexibil o probă aflată într-o membrană de cauciuc se supune unei presiuni aplicate uniform pe toată suprafaţa, într-un container. Apa va curge dintr-un recipient, va trece prin probă şi va fi colectată într-un alt recipient. Se măsoră diferenţa de nivel al apei din containere. Când presiunea din primul container este mai mare decât în cel de-al doilea, apa urcă prin probă. (Figura 2.6 c) [82].

Infiltraţia (testul de permeabilitate acidă de lungă durată) prevede ca un flux constant de apă acidă (pH = 4...4,5) se direcţionează prin probe întărite timp de 28 de zile. Timpul de infiltrare este de 3 luni (90 de zile). Filtratul se colectează la intervale de 30, 60 şi 90 de zile. Se analizează mostrele de apă şi rezultatele se compară cu cele admise de normele de protecţie a mediului, dacă acest lucru este necesar.

Modificarea rezistenţei probelor se determină prin încercări la compresiune efectuate după infiltraţie, iar rezultatele se compară cu cele obţinute pe probe la care nu s-a realizat anterior infiltraţia [83].

Testul de curgere plastică oferă informaţii despre efectul pre-încărcării asupra rezistenţei materialului prin combinarea oedometrului cu încărcarea de lungă durată a probelor. Amestecul de materiale se pune în saci de plastic şi se plasează în tipare pătrate. Pereţii tiparelor se ung pentru a permite libera mişcare a probelor. Acestea sunt comprimate la 20, 40 , 60 sau 80 kPa timp de 180 de zile, după care se determină rezistenţa la compresiune [84].

Testele privind scurgerile de elemente nocive determină pericolul potenţial reprezentat de straturile stabilizate cu diferiţi lianţi după diferite intervale de timp. În mod normal, pentru materialele ce conţin deşeuri industriale, se utilizează testul de coloană (Figura 2.6 d). În unele cazuri, când densitatea materialului devine prea mare, se poate utiliza testul de difuzie [85].

Activitatea practică de construcţie, modernizare şi întreţinere a drumurilor preconizează utilizarea unor materiale de calitate, inclusiv, reziduuri industriale la un preț mai mic decat cele naturale, procurate pe cât posibil din apropierea zonei de amplasament a drumului, astfel încât cheltuielile de transport să fie minime. Luând ca determinant pentru găsirea soluţiei optime de execuţie costul minim al lucrărilor. Așa dar, sa decurs ca pe baza cercetărilor efectuate şi prin folosirea unor tehnologii adecvate, cenușile de termocentrală se pot aduce în stadiul de utilizare curentă în tehnica rutieră. Marea varietate de rezuduuri industriale, inclusiv cenușile de termocentrală, folosite în tehnica rutieră şi de tehnologii conduce impicit la apariţia unei diversităţi largi de straturi rutiere a căror comportare în exploatare sub acţiunea solicitărilor (trafic şi condiţii climaterice) trebuie corect apreciată prin calcule de dimensionare specifice.

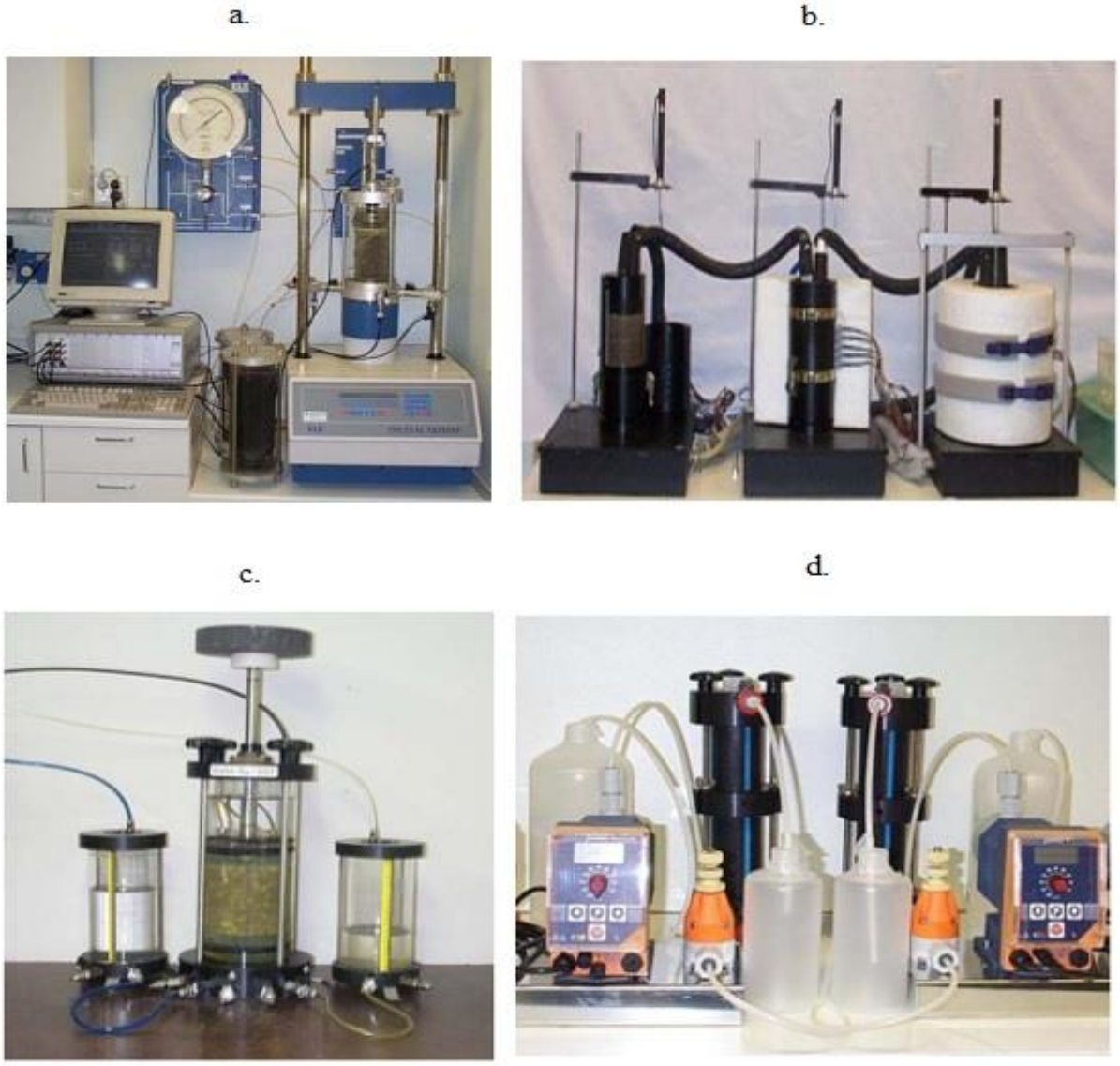


Fig. 2.6. Echipamente utilizate în realizarea testelor: a) Testul standard de compresiune b) Testul de sensibilitate la îngheţ c) Testul de permeabilitate cu perete flexibil d) Testul de coloană

2.4. Zguri de oţelărie: obținere, structură și proprietăți

În industria metalurgică sunt definite două tipuri majore de subproduse (deşeuri):

a) zguri de furnal înalt, obţinute la fabricarea fierului în creuzetul furnalului la temperaturi de max. 1600 ^{o}C, constituite din impurităţi din minereul de fier (Si şi Al), combinate cu oxizi de calciu şi magneziu din fondanţi minerali.

În funcţie de metodele de răcire se disting trei tipuri de produse:

- zgura de furnal răcită cu aer (brută), solidificată lent în condiţii atmosferice;
- zgura granulată, solidificată rapid sub acţiunea apei;
- zgura expandată, obţinută prin tratare succesivă controlată: aer/apă [86].

b) zguri de oţelarie, obţinute la fabricarea oţelului, compuse din silicaţi şi aluminoferiţi de calciu şi oxizi (de calciu, fier, magneziu, mangan).

În funcţie de cuptorul utilizat se disting:

- zguri de convertizor (insuflare cu oxigen) - procedeul Lintz - Donawitz, denumite LD;

- zguri de cuptor cu arc electric, denumite EAF;

- zguri Siemens - Martin (nu se mai produc, dar există în haldele combinatelor siderurgice) [87].

Cea mai mare parte a zgurii de oţelărie produsă în prezent se foloseşte în construcţii, în special în construcţia de drumuri, unde poate fi utilizată în aproape toate straturile rutiere. Domeniul aplicării zgurilor de oţelărie se întinde de la fundaţie la structuri de protecţie la îngheţ şi straturi portante, până la straturile de îmbrăcăminte. Zgura este utilizată şi ca agregat pentru pavelele din beton [88].

Sorturile de zgură (de haldă) separate prin ciuruire au un aspect fizico-petrografic diferit:

- zgura dezagregată sort 0-16 mm, reprezentând cca. 60 % din masa totală, este un material granular de culoare gri deschis, alcătuit din granule aspre, de formă neregulată. Are granulozitate neuniformă ($U_n \approx 20$), cu un conţinut de cca. 60 % în fracţiunea sub 3 mm şi de cca. 8 % în fracţiunea sub 0,09 mm, densitate aparentă de cca. 2,88 g/cm^3, iar densitatea în vrac de cca. 1,4 t/m^3 în stare afânată şi de cca. 1,7 t/m^3 în stare îndesată;

- zgura nedezagregată**,** reprezentând diferenţa de cca. 40 %, are aspect de piatră, alcătuită din granule şi blocuri cu dimensiuni de până la 250...300 mm.

Fragmentele de zgură au textură eterogenă, variind de la poroasă - alveolară până la compactă, de culoare variind corespunzător de la gri deschis până la gri închis, chiar brun.

Separarea vizuală relevă un conţinut masic de cca. 70 % fragmente poroase şi de cca. 30 % fragmente compacte.

În spărtură, zgura de culoare mai deschisă (poroasă, cu $\rho \approx 3{,}0$ g/cm^3) este aspră şi neregulată, asemănătoare zgurii brute de furnal, iar zgura de culoare mai închisă, care este mai compactă şi mai dură ($\rho \approx 3{,}3$ g/cm^3) conţine (uneori) incluziuni fine cu luciu metalic, spărtura fiind, de asemenea, aspră şi neregulată [89].

Capacitate portantă a zgurii de oţelărie este asigurată de conţinutul de piatră spartă de 100 % (masă), de formă compactă a granulei şi suprafaţă rugoasă, care sigură ca rezultat faptul că valoarea capacităţii portante prevăzută de reglementările pentru execuţia straturilor de protecţie la îngheţ şi a straturilor portante de pietriş este cu uşurinţă atinsă şi deseori chiar depăşită [90].

Aceste proprietăţi favorabile conferă straturilor portante de asfalt, de binder asfaltic şi straturilor de uzură din asfalt după punerea în operă şi după compactare o rezistenţă sporită la deformare. Capacitatea portantă ridicată şi stabilitatea constituie premizele pentru aplicarea zgurilor de oţelărie la execuţia suprafeţelor pentru circulaţie cu solicitări deosebite (de exemplu şosele cu circulaţie frecventă de camioane, tronsoane în pantă ascendentă şi curbe) [91].

Afirmaţiile de mai sus se demonstrează şi prin încercările în situ realizate pe fundaţii şi straturi de uzură cu placa Lucas şi deflectometrul Benkelman.

Stabilitatea zgurii de oţelărie este asigurată datorită compoziţiei chimico-mineralogice. Zgura se dezagregă în atmosferă liber (în haldă) sub influenţa factorilor atmosferici, ajungând la o stare cvasistabilă într-un interval de cca. 6 luni. Acest interval poate fi scurtat prin stropirea zgurei proaspete cu apă la temperatura de 40...50° C [92].

În funcție de domeniilede utilizare (în siderurgie şi/sau în construcţia de drumuri) este obligatorie separarea magnetică a incluziunilor metalice şi sortarea granulometrică (concomitent şi chimico - mineralogică) obţinându-se:

- aşa-numitul produs feros, reciclabil în siderurgie;
- sortul 0,8...16 mm, numit zgură dezagregată, utilizabil atât în siderurgie (ca înlocuitor de fondant) cât şi în construcţia de drumuri;
- sortul peste 16 mm, numit zgură nedezagregată, utilizabil numai în construcţia de drumuri.

Zgurile de oțelărie prezintă diferențe privind atât aspectele fizico - petrografice, cât și compoziția chimico – mineralogică în funcție de materia primă, din care au fost obținute, cât și tehnologia de producere a oțelului.

Zgura dezagregată este rezultată ca efect al proceselor de autodezagregare şi de dezagregare, se caracterizează printr–un conţinut mai mare de CaO+MgO liber şi prin conţinut de minerale cu proprietăţi hidraulice şi puzzolanice.

Activitatea chimică relevă o puternică instabilitate chimică iniţială. După aproximativ 6 luni de păstrare în haldă, expusă condițiilor atmosferice, zgura este caracterizată printr-o rezistenţă la compresiune mare, fiind foarte activă chimic şi cu proprietăţi liante [93].

La zgura nedezagregată, eterogenitatea fizico - petrografică menţionată este dovada eterogenităţii chimico - mineralogice. Astfel, compuşii mineralogici predominanţi în fragmentele de zgură poroasă, respectiv cele de zgură compactă, determină o puternică instabilitate chimică potenţială în raport cu apa, dar de sens diferit, şi anume:

- instabilitate concretizată în proprietăţi liante pentru zgura poroasă, care este „foarte activă”;

- instabilitate concretizată printr-un proces de umflare/dezagregare, pentru zgura compactă, epruvetele fisurând puternic. Separarea zgurii pe acest criteriu fiind tehnic neraţională, se ia în consideraţie instabilitatea chimică potenţială a zgurii-amestec, caracterizată prin efectul predominant al reacţiilor de dezagregare, intensificate datorită reactivării zgurii prin măcinare.

Este explicaţia procesului, aplicat în unele ţări (Franţa, Japonia), de „maturare" a criblurilor obţinute prin concasarea zgurii, constând în stropirea acestora cu apă caldă şi folosirea în lucrări rutiere după 3...6 luni [94].

2.5. Zguri de oţelărie utilizate la realizarea structurilor rutiere

Zgura dezagregată este un material granular cu proprietăţi liante, denumire atestată de valorile rezistenţei la compresiune, determinată pe epruvete cilindrice alcătuite din zgură şi apă (confecţionate, păstrate şi încercate în condiţiile STAS 10473/2-86). Astfel de epruvete (ρ_d =1,87 g/cm^3, w_{opt} =15,8%) se caracterizează prin priză suficient de rapidă (R_{c7} =1,0 N/mm^2) şi prin întărire continuă şi progresivă pe durata a cel puţin 1,5 ani (R_{c28} =1,5 N/mm^2, R_{c560} =5,0 N/mm^2).

Aspectul fizico - petrografic al zgurii numită nedezagregată (criblurii) justifică utilizarea acesteia ca materie primă pentru producerea de cribluri, având caracteristicile prezentate în Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Proprietăţile fizico-mecanice ale agregatelor minerale din zgură de oţelărie[95]

Nr. crt.	Caracteristica	Unitatea de măsură	Valori medii
1	Densitatea, ρ	g/cm^3	3,34
2	Densitatea aparentă, ρ_{ap}	g/cm^3	2,72
3	Densitatea aparentă în grămadă (sorturi elementare), ρ_{ga}	t/m^3	1,32
4	Porozitatea volumică, n	%	18,5
5	Absorbţia de apă la presiune normală, v	%	3,2
6	Porozitatea aparentă, p	%	14,2
7	Uzura Los Angeles, u	%	32

Caracteristicile specifice agregatelor din zgură de oţelărie sunt:

- textura eterogenă a granulelor componente;
- rezistenţa bună la îngheţ - dezgheţ, deşi absorbţia de apă şi porozitatea aparentă au valori mari;
- valorile mari ale densităţilor, care pot fi cauza unor cheltuieli de transport sporite;
- susceptibilitatea la instabilitate structurală sub acţiunea apei şi a temperaturilor > 25°C.

În concordanţă cu proprietăţile menţionate se diferenţiază şi posibilităţile de utilizare a zgurilor de oțelărie.

În calitate de material granular cu proprietăţi liante, zgura dezagregată sort 0-16 mm se poate folosi la construcţia straturilor rutiere stabilizate, astfel:

- ca atare, umezită şi compactată ($\rho_d \approx 1{,}87 g/cm^3$, w =1,6%), prezentând o creştere continuă şi progresivă a portanţei stratului;

- ca adaos mineralogic la agregatele naturale silicioase, cu caracter acid (în proporţie de 25...30%) în vederea stabilizării acestora cu liant pe bază de zgură granulată de furnal. Efectul adaosului constă în creşterea nivelului rezistenţelor mecanice (de exemplu, $R_{c\ 350}$ creşte de la 0,8 N/mm^2 la 2,7 N/mm^2);

- în amestec cu agregate naturale silicioase, în proporţie de cca. 50%, obţinându-se ameliorarea condiţiilor de compactare şi a comportării la acţiunea traficului (datorită sporirii unghiului de frecare internă al amestecului) şi o creştere lentă şi progresivă a rezistenţelor mecanice ($R_{c\ 350}$ = 2,2...3,0 N/mm^2).

Concomitent cu creşterea rezistenţelor mecanice creşte şi modulul de elasticitate statică al straturilor (nefisurate), care are valori de 2600...3900 MPa.

Straturile de bază şi de fundaţie realizate în oricare dintre soluţiile menţionate trebuie protejate în scopul păstrării umidităţii de compactare, prezenţa apei fiind obligatorie pentru desfăşurarea reacţiilor de hidratare şi de manifestare a proprietăţilor liante ale zgurii. Datorită susceptibilităţii la instabilitate structurală agregatele minerale din zgură de oţelărie concasată sunt destinate exclusiv straturilor rutiere bituminoase, unde anrobarea granulelor de zgură cu o peliculă de bitum limitează contactul cu apa [96].

2.6. Metode de încercare a materiilor prime folosite în structuri rutiere cu conținut de zguri de oţelărie

2.6.1. Determinarea stabilității cu aparatul Marshall (conform SR EN 12697-34/2020) [97]

Scopul încercării este de a stabili compoziția optimă si de a controla stabilitatea mixturilor asfaltice produse în stații fixe sau mobile.

Principiul încercării constă în determinarea forței de rupere pentru o epruvetă cilindrică supusă unei încărcări de compresiune aplicată pe generatoare. Compresiunea se exercită la 60 ^oC.

Stabilitatea Marshall reprezintă sarcina exprimată în kN, atinsă în momentul când se produce ruperea epruvetei.

Indicele de curgere prezintă deformația atinsă în momentul ruperii și se exprimă în mm.

Determinarea stabilității Marshall se efectuează pe epruvete cilindrice tip Marshall cu aparatul prezentat în Figură 2.7. Înainte de încercare, epruveta trebuie menținută cel puțin o ora, pe o suprafață plană, la temperatura ambiantă. Încercarea Marshall se poate executa și pe carote prelevate din imbracamintea bituminoasă existentă.

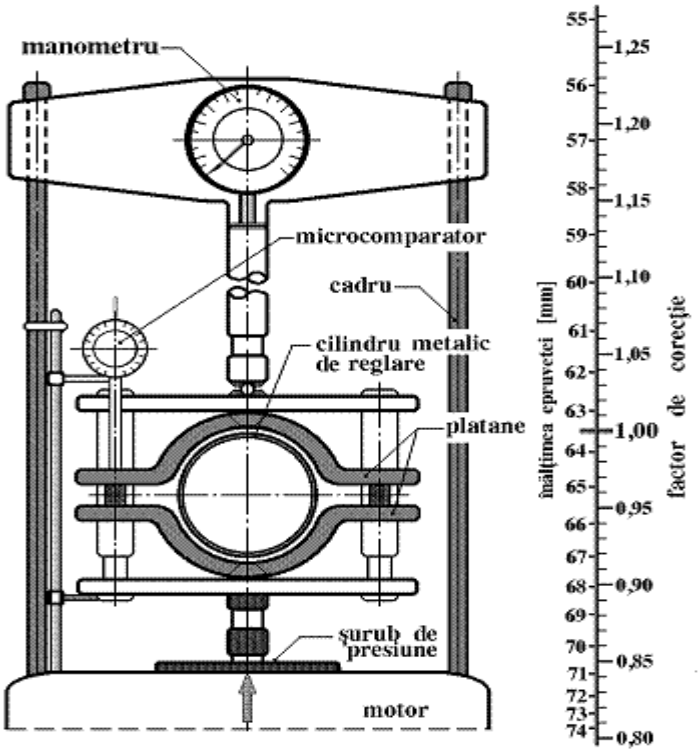


Fig. 2.7. Presa Marshall [97]

Pentru determinarea stabilității și a indicelui de curgere, epruvetele, a căror înalttme este cunoscută, se mențin în prealabil 30 - 40 min în apă la temperatura de 60 ^{o}C.

În cazul epruvetelor prelevate direct din îmbrăcămintea bituminoasă, durata de menținere a temperaturii de 60 ^{o}C este de 2 ore. Mostra de încercare, care trebuie să aibă temperatura mediului ambiant, se curăță cu grijă iar tijele de ghidare se ung cu ulei, astfel încât capul superior de încercare să lunece ușor.

Se fixeaza reperul zero al microcomparatorului cu ajutorul cilindrului metalic care, avand dimensiunile epruvetei, se introduce în forma de incercare. Pentru aceasta se apropie cu atentie platanul presei de dispozitivul de incercare pana in momentul în care cilindrul metalic intra sub sarcina. Dupa montarea microcomparatorului pe partea superioara a mostrei de forfecare sau pe platanul presei, se indeparteaza platanul presei cu circa 10 mm si in locul cilindrului metalic se introduce mostra în dispozitivul de încercare, sters în prealabil cu o tesatura umeda.

Se centreaza intregul ansamblu, precum si microcomparatorul destinat masurarii fluajului și se aplica sarcina asupra epruvetei cu o viteza de 50 3 mm/min.

Sarcina critica, în kN, în momentul ruperii (sarcina indicata de manometru începe sa scada) reprezinta valoarea stabilitatii Marshall. Deformația citita în momentul ruperii, reprezinta indicele de curgere și se exprima în mm.

Încercarea trebuie efectuata într-un interval de 30 secunde, considerat de la scoaterea epruvetei din baia de apa.

2.6.2. Determinarea deflexiunii caracteristice cu pârghia Benkelman

Determinarea deflexiunii caracteristice se efectuează cu pârghia Benkelman (Figura 2.8) conform normativului CD 31/2002 [98]

Fig. 2.8. Pârghia Benkelman

Se măsoară faţă de un sistem de referinţă deplasarea pe verticală a suprafeţei complexului rutier, deformată sub solicitarea roţilor duble ale osiei din spate a vehiculului de măsurare, după îndepărtarea acestuia (revenirea elastică a suprafeţei complexului rutier). Pârghia basculantă, componenta principală a deflectometrului cu pârghie, permite transmiterea deplasării verticale a vârfului de contact amplasat între roţile duble la celalalt capăt al pârghiei, unde aceasta este citită cu ajutorul unui microcomparator.

Se calculează valorile deflexiunilor corelate în funcţie de linia de influenţă, cu relaţia

$$d = 2d_{5.0} - d_{2.4}, \text{ în } 0.01 \text{ mm} \quad (2.2)$$

In cazul în care sarcina osiei din spate a vehiculului de măsurare diferă de sarcina vehiculului etalon (115 kN), valorile deflexiunilor calculate conform Art. 96 CD 31/2002 se transformă în valori corespunzatoare vehiculului etalon cu relația

$$d_i = 115\ d/P, \text{ în } 0{,}01 \text{ mm}, \quad (2.3)$$

în care P este sarcina osiei din spate a vehiculului de măsurare.

Rezultatele măsurătorilor sunt prelucrate statistic, calculându-se următoarele:

- deflexiunea medie (DBM) cu relaţia

DBM = $\sum_{i=1}^{n}$ di /n, în 0,01 mm, (2.4)

în care n este numărul valorilor individuale luate în calcul

- abaterea medie pătratică (SBM) a şirului de valori, cu relaţia

$$SBM = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} di^{2} - n\,DBM\,2}}{n}, \text{ în 0,01 mm} \quad (2.5)$$

- coeficientul de variaţie (CV), cu relaţia

CV = 100 x SBM / DBM, în 0,01 mm (2.6)

Se calculează valoarea deflexiunii medii normale (DBM 20) cu relaţia

DBM 20 = f(t) x DBM, (2.7)

unde f(t) = 1,2 - 0,01 t este factorul de transformare a deflexiunii medii corespunzătoare temperaturii t în deflexiune medie normală

Se calculează abaterea medie pătratică normală (SBM 20) cu relaţia

SBM 20 = CV x DBM 20, în 0,01 mm (2.8)

Indiferent de tehnica de măsurare utilizată, valoarea deflexiunii caracteristice (DCB) se calculează cu relaţia

DCB = DBM 20 + t x SB 20, în 0,01 mm, (2.9)

în care t este un coeficient ce depinde de probabilitatea apariţiei unor valori ale deflexiunii mai mari decât deflexiunea caracteristică, de numărul de valori ale deflexiunii (n) şi de clasa tehnică a drumului, conform Tabelului 2.2.

Tabelul 2.2. Valorile coeficientului t [98]

Numărul de valori ale deflexiunii, n	**Clasa tehnică**	
	V - IV	I, II, III
	2,5%	1,5%
≤ 20	2,09	2,34
> 20	1,96	2,20

În cazul de faţă s-a ales o valoare a lui t de 2,20.

S-a calculat deflexiunea caracteristică Lacroix (DC) conform relaţiei

DC = 0,7 x DCB (2.10)

2.6.3. Determinarea modulului de deformație cu placa Lucas

Testul cu placa Lucas (conform STAS 8942/3 - 90) [99] este destinat utilizării în lucrările de terasamente și fundații, precum și în construcția drumurilor. Metoda permite determinarea relației dintre sarcină și tasare (curba sarcină-tasare), scopul fiind acela de a evalua caracteristicile de deformare și rezistență pentru a determina modulul de deformație.

Echipamentul pentru efectuarea încercării este alcătuit din placă circulară rigidă, presă hidraulică, pompă hidraulică cu manometru și un dispozitiv de tip pârghie de ordinul I căreia îi este atașat un microcomparator cu o precizie de măsurare de 1/100 mm (Figura 2.9).

Fig. 2.9. Placa Lucas

Încercarea constă în aplicarea unor încărcări verticale, în trepte, pe placa rigidă aşezată pe suprafaţa de încărcat şi măsurarea tasărilor acestei suprafeţe, după fiecare treaptă de încărcare.

Tasările se măsoară pe suprafaţa superioară a plăcii în minimum trei puncte, dispuse în apropierea conturului plăcii. Diferenţele între citirile pe dispozitivele de măsurare a tasărilor trebuie să nu prezinte abateri faţă de tasarea medie (media aritmetică a citirilor) mai mari de 30%. În caz contrar încercarea se consideră neconcludentă. Încercarea se opreşte după obţinerea unei deformaţii relative efective s' mai mare decât deformaţia relativă de calcul.

Deformaţia relativă de calcul în funcţie de tipul sistemului rutier se adoptă conform Tabelului 2.3.

Tabelul 2.3. Deformaţia relativă de calcul în funcţie de tipul sistemului rutier [99]

Tipul sistemului rutier		**Deformaţia relativă de calcul**
Sisteme rutiere nerigide	Imbracaminţi permanente	0,010
	Îmbrăcăminţi semipermanente sau sisteme rutiere cu grosime totală mai mică decât diametrul cercului echivalent de contact al suprafeței pneurilor autovehiculului de calcul	0,020
	Îmbrăcăminţi provizorii	0,030
Sisteme rutiere rigide		0,001

Se calculează deformaţiile relative efective s' corespunzatoare fiecărei trepte de încercare, cu relaţia

$$s' = s / d, \tag{2.11}$$

în care s = tasarea medie iar d = diametrul plăcii de încărcare.

Se compară valorile s' obţinute prin cele trei determinări la acelaşi nivel de încărcare. Acestea nu trebuie să difere între ele cu mai mult de 10% în valoare absolută. În caz contrar încercarea se consideră neconcludentă. Rezultatele încercării sunt mediile aritmetice ale valorilor s' obţinute prin cele trei determinări.

Cu datele obţinute se construieşte diagrama presiune – deformaţii relative efective.

Cu valorile de calcul ale deformaţiilor relative din tabel se intră în diagrama presiune – deformaţii relative efective şi se stabilesc presiunile corespunzatoare acestor deformaţii.

Se calculează modulul de deformaţie liniară cu relaţia

$$E = p / s', \text{ kPa} \qquad (2.12)$$

Valorile de calcul ale modulului de deformaţie pentru straturile rutiere sunt indicate în PD 177 - 2001 [100], conform Tabelului 2.4.

Tabelul 2.4. Valorile de calcul ale modulului de deformaţie [100]

Nr. crt.	**Denumirea materialului din stratul rutier**	**Modulul de deformaţie de calcul, daN/cm^2**
1	Beton asfaltic pentru strat de uzură	2800
2	Binder de criblură	2600
3	Mortar asfaltic pentru covor	2400
4	Mixtură bituminoasă pentru strat de bază executată cu agregat mineral de balastieră cu (fară) adaus de agregat concasat	2200
5	Macadam (îmbrăcăminte sau strat de bază)	1100
6	Piatră spartă (amestec optimal) pentru fundaţie	900
7	Piatră spartă (63 – 90 mm) pentru fundaţie	800
8	Balast sau nisip stabilizat cu ciment pentru strat de bază şi fundaţie	1200
9	Balast (amestec optimal) pentru fundaţie	750
10	Balast pentru fundaţie	A se vedea tabelul următor

Valorile de calcul ale modulului de deformaţie pentru tipurile de balast sunt prezentate în Tabelul 2.5.

Tabelul 2.5. Valorile de calcul ale modulului de deformaţie pentru tipurile de balast [100]

Tip balast	**Compoziţie granulometrică**			**Modulul de deformaţie de calcul, daN/cm^2**
	Fracţiuni sub 0,2 mm, %	Fracţiuni 0 – 7,1 mm, %	Fracţiuni 31 – 71 mm, %	
1	1…5	15…20	35…60	550
2	1…7	20…30	25…50	600
3	1…9	30…40	15…40	700
4	2…10	40…50	10…35	600
5	2…15	50…60	5…25	500
6	2…18	60…70	2…20	450

2.7. Concluzii

2.8.1. Condițiile de depozitare demonstrează faptul că cele mai bune proprietăţi ale cenușilor de termocentrală sunt obţinute în cazul depozitării lor în stare uscată, iar reactivitatea chimică a lor scade direct proporţional cu perioada în care acestea sunt depozitate în stare umedă.

2.8.2. Proprietăţile fizice și mecanice ale cenușilor de termocentrală și ale zgurilor de oţelărie, prezentate anterior, justifică realizarea de încercări de laborator și pe teren, pentru a stabili în ce măsură acestea pot substitui cu succes agregatele naturale din structurile rutiere, ceea ce ar permite atât rezolvarea problemelor de mediu, cât și la costuri mult mai mici în execuție.

2.8.3. Zgura dezagregată se caracterizează printr–un conţinut mai mare de CaO+MgO liber şi prin conţinut de minerale cu proprietăţi hidraulice şi puzzolanice, ceea ce permite îmbunătățirea proprietăților fizico-chimice și mecanice ale mixturilor asfaltice.

2.8.4. La zgura nedezagregată, compuşii mineralogici predominanţi din fragmentele de zgură poroasă și de zgură compactă determină o puternică instabilitate chimică potenţială în raport cu apa, dar de sens diferit, şi anume:

- instabilitate manifestată prin proprietăţile liante ale zgurii poroase, care este „foarte activă”;
- instabilitate manifestată printr-un proces de umflare/dezagregare pentru zgura compactă.

2.8.5. Cenușile de termocentrală și zgurile de oțeărie din halde, pe tot parcursul anilor de depozitare, influențează negativ mediul înconjurător, poluând aerul, apele, solul și zonele verzi, astfel că utilizarea eficientă a acestora constituie o preocupare a specialiştilor din întreaga lume.

3. REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA CENUȘILOR DE TERMOCENTRALĂ PENTRU UTILIZAREA LOR ÎN STRUCTURI RUTIERE

3.1. Încercări de laborator pe mixturi asfaltice cu adaos de cenuşi fine de termocentrală

Pentru optimizarea componenței și proprietăților mixturii asfaltice cu adaos de cenuşi fine de termocentrală a fost aleasă o reţetă de bază cu un procent de 4,5 % bitum din agregat, cu o bună comportare la stabilitatea Marshall. S-a realizat înlocuirea gradată a filerului (până la 100%) şi parţial a nisipului natural cu cenuşă de termocentrală, conform Tabelului 3.1, odată cu creşterea procentului de bitum. S-a obţinut stabilitatea noii mixturi la încercarea Marshall, fiind determinate densitatea, absorbţia şi stabilitatea Marshall după supunerea probelor la cicluri de îngheţ-dezgheţ.

Tabelul 3.1. Înlocuirea gradată a filerului cu cenuşă

Nr. probă	Procente de cenuşă	Cenuşa înlocuieşte	Procent de bitum	Compactare
1	20	filer	4,5	50
2	50	filer	4,5	50
3	100	filer	4,5	50
4	20	filer	5	50
5	50	filer	5	50
6	100	filer	5	50
7	20	filer	5,5	50
8	50	filer	5,5	50
9	100	filer	6	50
10	100	filer	6	50
11	100	filer	6	50
12	100/30	filer/nisip	7	50
13	100/30	filer/nisip	7,5	75
14	100/30	filer/nisip	7	75
15	100/30	filer/nisip	7,5	75

Rezultatele încercărilor

Reţetele cu bitum în proporţie de 5,5 % din agregat şi cu 100 % cenuşă din filer (reprezentând 11% din agregat) posedă următoarele proprietăți:

- stabilitatea F 811 daN;
- indicele de curgere 248, 0,01 mm;
- densitatea aparentă 2156 kg/m^3;
- absorbţia de apă 0,75 %.

Reţetele cu bitum în proporţie de 7,5% din agregat şi cu 23% cenuşă din agregat prezintă cea mai bună comportare, rezultatele la încercări pentru această reţetă fiind următoarele:

- stabilitatea F 875 daN;
- indicele de curgere 316 (0,01 mm);
- densitatea aparentă 1958 kg/m^3;
- absorbţia de apă 0,174 %.

După încercarea la îngheţ-dezgheţ:

- stabilitatea F61 daN;
- indicele de curgere 305 (0,01 mm).

Rezultatele testelor de laborator confirmă faptul că cenușile de termocentrală pot înlocui eficient agregatele fine în mixturile asfaltice, însa necesită o cantitate sporită de bitum [101]

Valorile determinate se încadrează în prevederile STAS-ului 7090/2001 [102], ceea ce ar permite folosirea cenuşii de termocentrală la alcătuirea mixturilor asfaltice în procente de până la 20-25 % din agregat (filerul în proporţie de până la 100 % şi nisipul în proporţie de până la 30 %), conform tabelului centralizator (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2. Centralizarea rezultatelor

Nr. probă	Stabilitate	Deformată	Îngheţ-dezgheţ	Concluzii
1	*	*	*	admis
2	*	*	*	admis
3	*	*	*	admis
4	*	*	*	admis
5	*	*	*	admis
6	*	*	*	admis
7	*	*	*	admis
8	*	*	*	admis
9	*	*	*	admis
10	*	*	*	admis
11	*	*	*	admis
12	*	*	*	admis
13	*	*	*	admis
14	*	*	*	admis
15	*	*	*	admis

Totuși, folosirea unui procent crescut de cenuşă în mixtura asfaltică poate duce la fisurarea stratului de bază, dacă este introdus prea devreme în circulaţie, după turnare [103].

3.2. Teste realizate pe pista circulară a staţiei pilot pentru încercări rutiere

Cercetările au fost efectuate pe pista circulară solicitată la trafic simulat asupra a patru complexe rutiere având stratul de bază realizat din diferite materiale, în colaborare cu specialiști.

Solicitarea prin oboseală a complexelor rutiere s-a realizat prin supunerea acestora la un trafic simulat, prin trecerea unei roţi simple de camion, cu sarcina de 2,3 t şi viteza de 20 km/h, repetarea trecerii prin acelaşi profil transversal având loc după 3 secunde. Traficul zilnic simulat echivalează cu un trafic foarte greu, pe un drum cu două benzi de circulaţie, în ambele sensuri.

Aprecierea comportării şi portanţei acestor complexe rutiere sub influenţa traficului şi a umidităţii s-a efectuat pe baza măsurării deformaţiilor (deflexiunea elastică, deformaţiile prin încărcări cu placa rigidă și deformaţii permanente - umflări şi tasări).

Calculul valorilor modulelor de elasticitate ale complexelor rutiere analizate sunt prezentate în cele ce urmează.

Rezultatele încercărilor de încărcare cu placa evidenţiază (Figura 3.1) foarte clar influenţa deformabilităţii stratului de bază asupra întregului complex rutier:

- straturile alcătuite din materiale stabilizate cu cenuşă de termocentrală şi ciment (I) sau var (IV) prezintă o deformabilitate intermediară, comparativ cu straturile alcătuite din materiale granulare, respectiv din materiale stabilizate cu ciment, aceste sisteme rutiere prezentând o tendinţă de fisurare mai redusă;
- ca urmare a umectării artificiale s-a obţinut o umflare mai accentuată în cazul complexului rutier (I) în raport cu complexul rutier (IV).

Stabilirea valorilor modulelor de elasticitate ale stratului stabilizat cu cenuşă fină de termocentrală au fost determinate prin încărcări dinamice şi statice, prin încărcări ciclice repetate, pentru un număr de 20 de cicluri pe minut (un ciclu având durata de 3 s, din care timp de 1,5 s placa se încarcă, iar în restul de 1,5 s placa este descărcată), forţa de încărcare prezentând o variaţie cosinusoidală. Timpul de încărcare de 1,5 s este aproximativ egal cu cel necesar unui vehicul care circulă cu viteza de 10 km/h să parcurgă distanţa de 4 m (lungimea liniei de influenţă).

Pe baza curbelor de presiune – deformaţie elastică au fost determinate modulele de elasticitate (sub încărcări dinamice şi statice) ale stratului de bază stabilizat cu cenuşă de termocentrală, folosind relaţia generală de calcul, atât pentru sarcini repetate (E_1 = 7350 daN/cm^2), cât şi pentru încărcări statice (E_1 = 9600 daN/cm^2)

$$E = \pi / 4 \ \text{x} \ p / \lambda_e (1 - \mu^2) \qquad (3.1)$$

şi metodologia descrisă în instrucţiunile tehnice pentru dimensionarea sistemelor rutiere nerigide după criteriul deformaţiei elastice admisibile.

Întrucât la efectuarea încercărilor nu s-a luat în considerare influenţa regimului hidrologic al pământului de fundaţie, valorile determinate mai sus au un caracter global, motiv pentru care s-a adoptat o valoare de calcul medie a modulului de elasticitate al stratului stabilizat cu cenuşă

de termocentrală de 4000 daN / cm^2, iar a modulului de deformaţie de 1100 daN / cm^2. Aceste valori urmează să fie verificate în perioada aplicării în producţie a noii tehnologii [104].

Complexele rutiere luate în considerare, a căror alcătuire este prezentată în Figura 3.1 (sectorul I şi sectorul II), sunt caracterizate prin următoarele valori ale modulelor de elasticitate: E_2 = 5000 daN/cm^2 pentru stratul de bază stabilizat cu ciment, E_2 = 4000 daN/cm^2 pentru stratul stabilizat cu cenuşă de termocentrală şi E_4 = 125 - 250 daN/cm^2 pentru pământul de fundaţie şi prin coeficientul Poisson μ = 0,27 – 0,30.

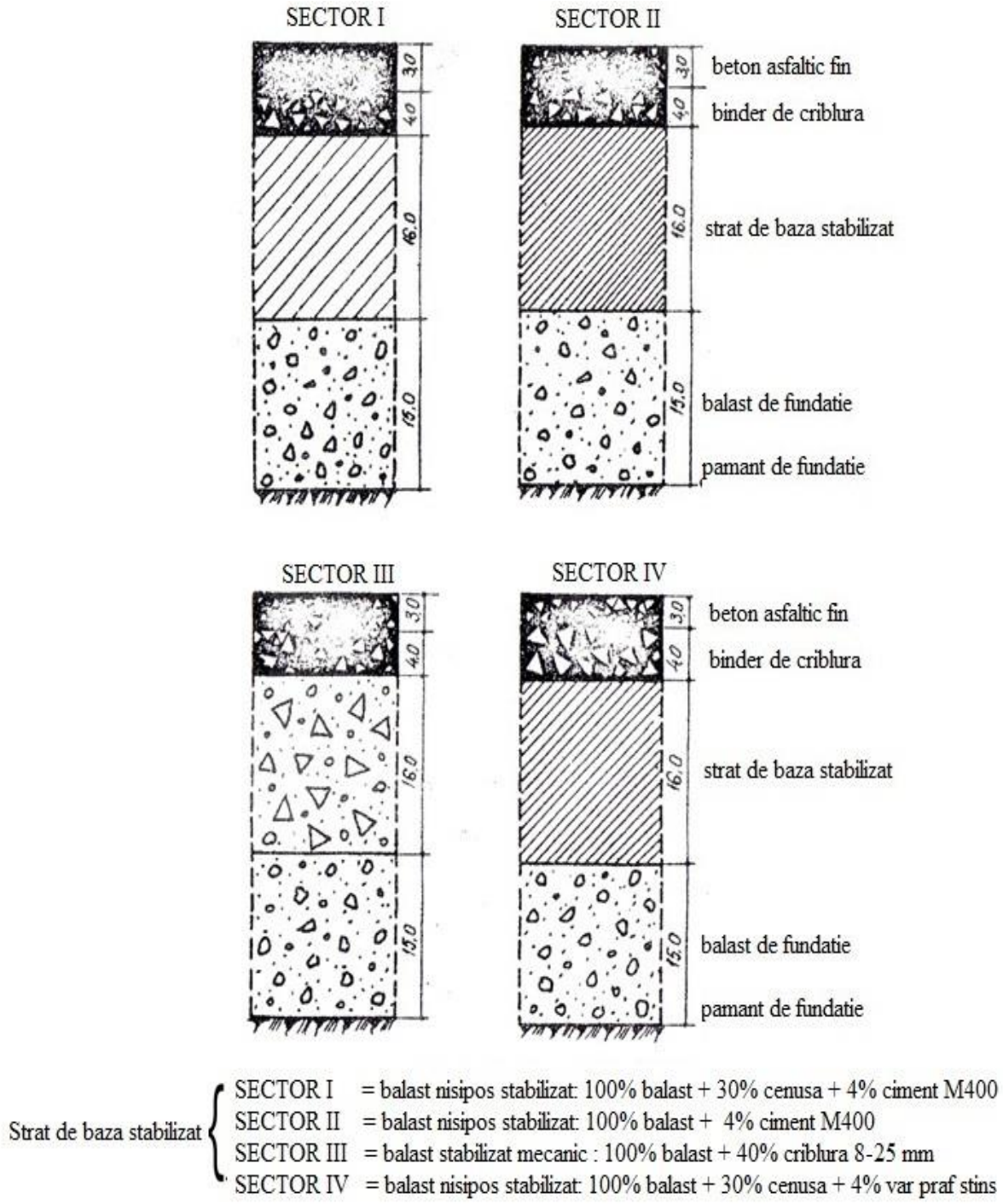


Fig. 3.1. Secţiuni transversale

Variaţiile eforturilor radiale (σ_{r2}) în funcţie de modulele de elasticitate ale materialelor luate în considerare (E_2, E_4) sunt reprezentate grafic în Figura 3.2.

Din analiza diagramei menţionate rezultă că valoarea efortului unitar de întindere (σ_{r2}) de la baza stratului stabilizat cu cenuşă de termocentrală creşte cu cât modulul de elasticitate (E_2) este mai ridicat.

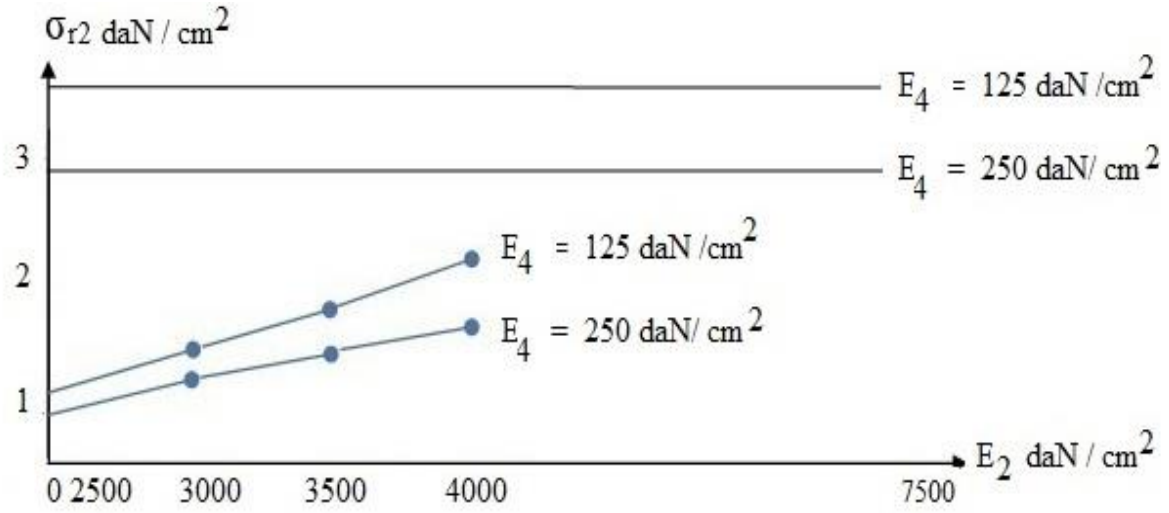


Fig. 3.2. Variaţia eforturilor radiale în funcţie de modulele de elasticitate

Rezultatele cercetărilor efectuate pe pista circulară a staţiei pilot confirmă faptul că adaosul de cenuşă de termocentrală conferă straturilor stabilizate o rigiditate mai mică decât a celor stabilizate cu ciment, astfel încât acestea vor prezenta o tendinţă de fisurare mai redusă .

3.3. Cercetări privind impactul asupra mediului al structurilor ce conțin cenuși de termocentrală

Structurile realizate cu materiale reciclabile (CMR) nu trebuie să conducă la poluarea apelor sau a solului. Preluarea şi transportul diferitelor elemente din cenuşi în mediul înconjurător au fost cercetate atât în laborator cât şi pe teren. De asemenea, impactul de lungă durată poate fi studiat utilizând modele matematice de transport dinamic [105].

Studiile au implicat măsurători cu instrumente instalate în situ, teste pe mostre de materiale şi măsurători directe pe structuri rutiere.

Structurile testate au fost echipate cu instrumente geotehnice care măsoară electric expansiunea la îngheţ, tasarea, temperatura şi conţinutul de apă. Expansiunea la îngheţ şi tasarea a fost determinată cu potenţiometre ancorate sub adâncimea maximă de îngheţ [106]. Măsurarea temperaturii a fost făcută cu termo-elemente amplasate la diferite adâncimi. Conţinutul de apă al structurii a fost determinat cu un detector de umiditate calibrat, pe principii dielectrice [107].

Instrumentele geotehnice au fost instalate în structura testată conform schemei prezentate în Figura.3.3.

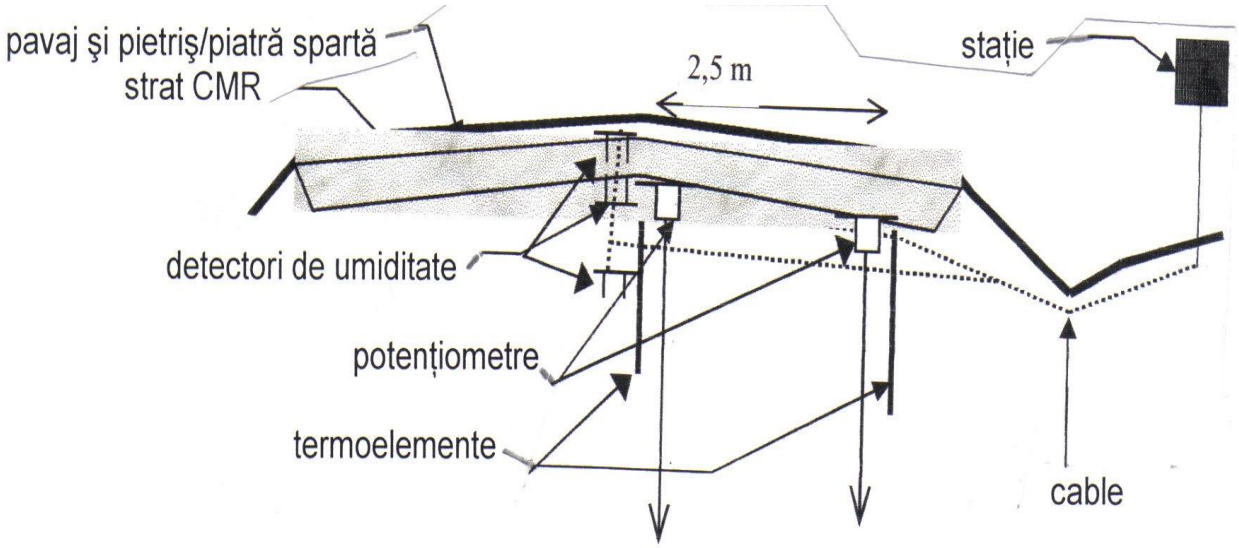


Fig. 3.3. Instrumente geotehnice amplasate în structura testată

De asemenea, majoritatea structurilor testate au fost echipate cu ţevi subterane. Acestea au fost instalate la câţiva metri de părţile laterale ale structurii, în exteriorul acesteia, sub pânza freatică, pentru a se putea observa calitatea apei subterane. Suplimentar au fost instalate lisimetre sub unele dintre structurile testate şi sub structura de referinţă, pentru comparaţie. Lisimetrele au rolul de a determina calitatea apei ce se infiltrează prin structură. O schemă a sistemului de măsurare a apei subterane este prezentată în Figura 3.4 [108].

În plus, testele de teren au inclus măsurarea capacităţii portante, observaţii privind deteriorarea structurii şi prelevarea de probe la anumite intervale de timp. Testele realizate asupra acestor probe au oferit informaţii adiţionale semnificative privind comportarea pe termen lung şi durabilitatea materialelor şi structurilor [109, 136].

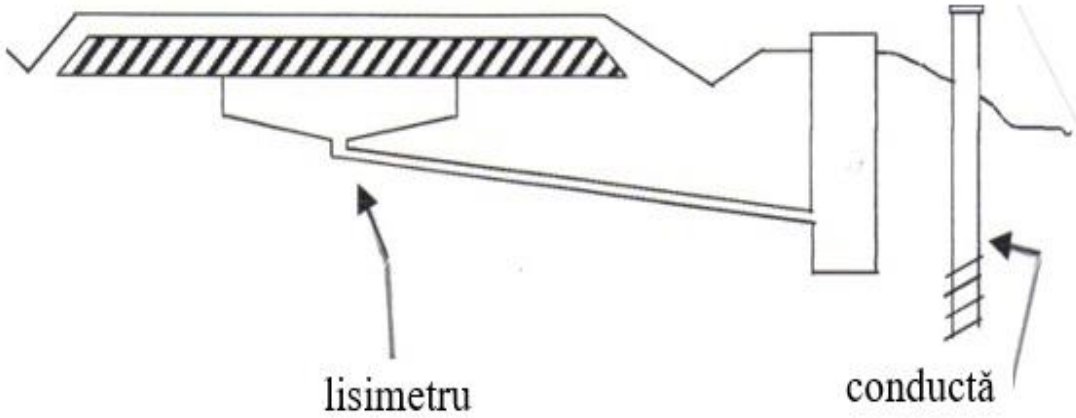


Fig. 3.4. Lisimetru şi conductă pentru apa subterană

3.4. Rezultatele cercetărilor privind procesarea cenuşilor de termocentrală pentru îmbunătățirea proprietăților acestora

Cercetări asemănătoare celor prezentate în teza de doctorat, referittoare la utilizarea cenușilor fine de termocentrală în structurile rutiere, au fost realizate și de alți cercetători, de-a lungul timpului, confirmând rezultatele obținute de autor. Există însă relativ puţine studii referitoare la cenuşi provenite din alte tipuri de combustibili decât cărbunii [110]. Acestea au arătat că există o variație a compoziției cenușii de la aceeași centrală, de la o şarjă la alta și că procentele de substanțe anorganice din CF depind în mod semnificativ de tipul şi proprietăţile combustibilului, așa cum rezultă din datele din Tabelul 3.3 [111].

Tabelul 3.3. Substanţe anorganice în CF provenite din diverşi combustibili, mg/kg [111]

Nr. crt.	**Substanţă anorganică**	**Simbolul elementului**	**Cărbune,** mg/kg	**Turbă,** mg/kg	**Lemn,** mg/kg	**Amestec*,** mg/kg
1	Arsenic	As	19...57	2...284	...26	10...120
2	Bor	B	...475	8...230	130...160	90...180
3	Bariu	Ba	78...1600	55...790	115...1340	80...1700
4	Beril	Be	3...17	1...3	2	1...4
5	Cadmiu	Cd	0,5...16	0,5...19	0,8...11	1...303
6	Cobalt	Co	21...49	13...33	7...23	6...30
7	Crom	Cr	18...300	37...212	40...85	30...120
8	Cupru	Cu	41...144	55...180	58...230	37...200
9	Mercur	Hg	0,1...1,1	0,01...0,6	0,2	...1
10	Mangan	Mn	430...792	-	-	-
11	Molibden	Mo	7...40	0,9...19	5...14	5...10
12	Nichel	Ni	23...1197	32...700	32...68	40...80
13	Plumb	Pb	27...177	16...970	20...103	20...300
14	Stibiu	Sb	0,2...15	...20	2...15	13...130
15	Seleniu	Se	2...6	2...7	...1,4	1...4
16	Vanadiu	V	70...360	68...356	32...100	16...190
17	Zinc	Zn	38...1030	20...900	300...1900	200...3200
18	Uraniu	U	...12	-		

*amestecuri de combustibili cum ar fi turbă/lemn, turbă/lemn/pastă lemnoasă, turbă/pastă lemnoasă, lemn/pastă lemnoasă, cărbune/turbă, cărbune/lemn

Din Tabelul 3.3 rezultă că cenuşile de lemn, turbă şi amestecuri nu conţin mai multe substanţe nocive pentru mediu decât CF de cărbune. Tabelele 3.4 şi 3.5 conţin date privind compoziţia chimică şi proprietăţile geotehnice cele mai importante ale CF.

Tabelul 3.4. Compoziţia tipică a cenuşilor de cărbune şi turbă

Compoziţie chimică	**Formulă**	**CF de cărbune,** % masic	**CF de turbă,** % masic
dioxid de siliciu	SiO_2	45-55	3-57
oxid de aluminiu	Al_2O_3	20-30	3-29
oxid de fier	Fe_2O_3	8-11	0-36
oxid de calciu	CaO	4-7	5-30
oxid de magneziu	MgO	3-5	1-25
oxid de potasiu/oxid de sodiu	K_2O/ Na_2O	1-2/0-0,2	0-7/0-0,6

Tabelul 3.5. Proprietăţi geotehnice ale CF

Nr. crt.	Proprietatea	Variaţia
1	Densitatea în grămadă, kN/m^3	6-13
2	Densitate maximă în stare uscată, kN/m^3	7-16
3	Conţinutul optim de apă, %	12-55
4	Conductivitate termică, W/mK	0,4-1
5	Potenţialul de segregare (CF bine compactate), mm^2/kh	<1
6	Capilaritate, m	1,8-2,2
7	Permeabilitate la apă, k m/s	10^{-6}-10^{-8}
8	Rezistenţă la compresiune (cenuşi întărite), MPa	
9	- din siloz	>4,5
10	- din haldă	0,5-4,5

Rezistenţa CF este invers proporţională cu valoarea pierderii la calcinare (respectiv partea necombustibilă a CF) şi depinde direct de conţinutul de CaO. După cum se observă din Figura 3.5, chiar şi o cantitate foarte mică de var activ adăugată în amestec (0,4 - 0,8 %) îmbunătăţeşte în mod semnificativ caracterul cimentoid al acestuia. Totuşi, Figura 3.5 arată că, la aceeaşi cantitate de activator CaO, există diferenţe între comportarea CF provenind din surse diferite. De asemenea, există o dependenţă directă între suprafaţa specifică a CF şi rezistenţa la compresiune a acestora, confirmată și în [112].

Totodată, rezistenţa la compresiune depinde considerabil şi de următorii factori: liantul sau activatorul (calitate, proprietăţi, cantitate), conţinutul de apă, compactitate, omogenitatea amestecului și eficienţa procesului de amestecare deasemenea confirmată și in [113].

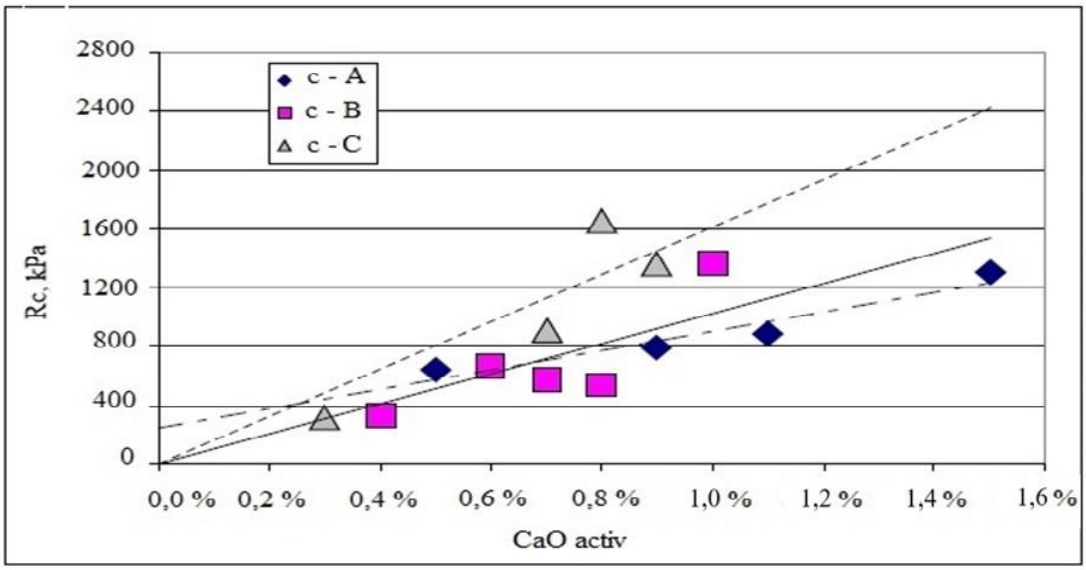


Fig. 3.5. Rezistenţa la compresiune în funcţie de conţinutul de CaO activ
Testul a fost realizat pe CF de la trei termocentrale diferite:
cenușa A (c - A), cenușa B (c - B) și cenușa C (c - C)

Efectul conţinutului de apă şi compactităţii asupra creşterii rezistenţei CF este major.

Cu cât diferenţa dintre conţinutul de apă existent şi cel optim este mai mare, cu atât rezistenţa finală rezultată este mai redusă [114]. În Figurile 3.6 şi 3.7 se prezintă valorile rezistenţei la compresiune în funcţie de conţinutul de apă şi respectiv compactitate. Prin utilizarea acestor teste a fost determinată toleranţa admisă pentru modificările conţinutului de apă în practică. Tot astfel a fost determinată compactitatea minimă relativă, D [%], prin variaţia compactităţii relative din testele de laborator. În mod similar [115], se observă că rezistenţa scade semnificativ când compactitatea este mai mică de 90-91 %. Aşadar, se urmăreşte o compactitate de 91-92 % pentru majoritatea structurilor ce conţin CF.

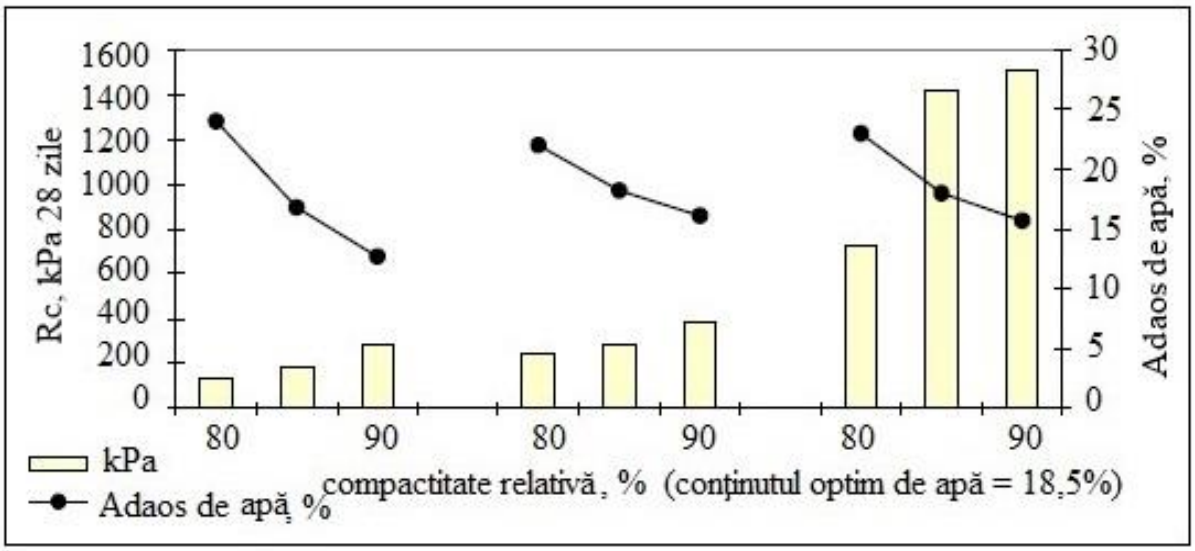


Fig. 3.6. Efectul conţinutului de apă asupra rezistenţei unor amestecuri cu CF

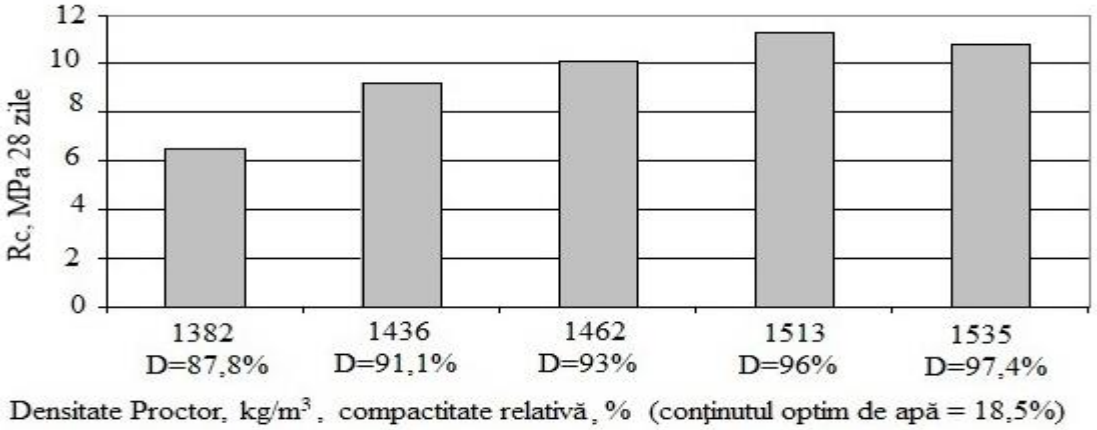


Fig. 3.7. Efectul compactităţii asupra rezistenţei unui amestec conţinând CF

Utilizarea lianţilor îmbunătățește în mod semnificativ proprietăţile geotehnice şi ambientale ale CF. Chiar şi o cantitate foarte mică de liant (1-2 %) adăugată unei CF uscate poate activa şi accelera reacţiile de cimentare ale acesteia, mărind considerabil rezistenţa

materialului rezultat. În schimb, în cazul CF de siloz sau al altor cenuşi ce prezintă un slab caracter cimentoid, cantitatea de liant trebuie să fie mult mai mare pentru a se obţine materiale cu o rezistenţă satisfăcătoare, confirmatăși în [116].

Există câţiva lianţi sau activatori ce pot fi utilizaţi împreună cu CF. Cei mai importanţi dintre aceştia sunt diferite tipuri de var [117] şi ciment, ca şi deşeurile industriale cum ar fi zgura de furnal, gipsul, cenuşile reactive şi RDG (Reziduu de la desulfurizarea gazelor de ardere).

Varul s-a dovedit un activator foarte eficient, iar cimentul a condus la rezultate variabile.

Utilizarea reziduurilor industriale este acceptabilă datorită beneficiilor de natură economică şi ambientală ce pot fi obţinute şi datorită fezabilităţii tehnice [118]. Figura 3.8 arată efectul cantităţii de ciment adăugat asupra rezistenţei, în cazul a trei CF. Se observă că rezistenţa creşte aproape liniar cu cantitatea de ciment adăugată.

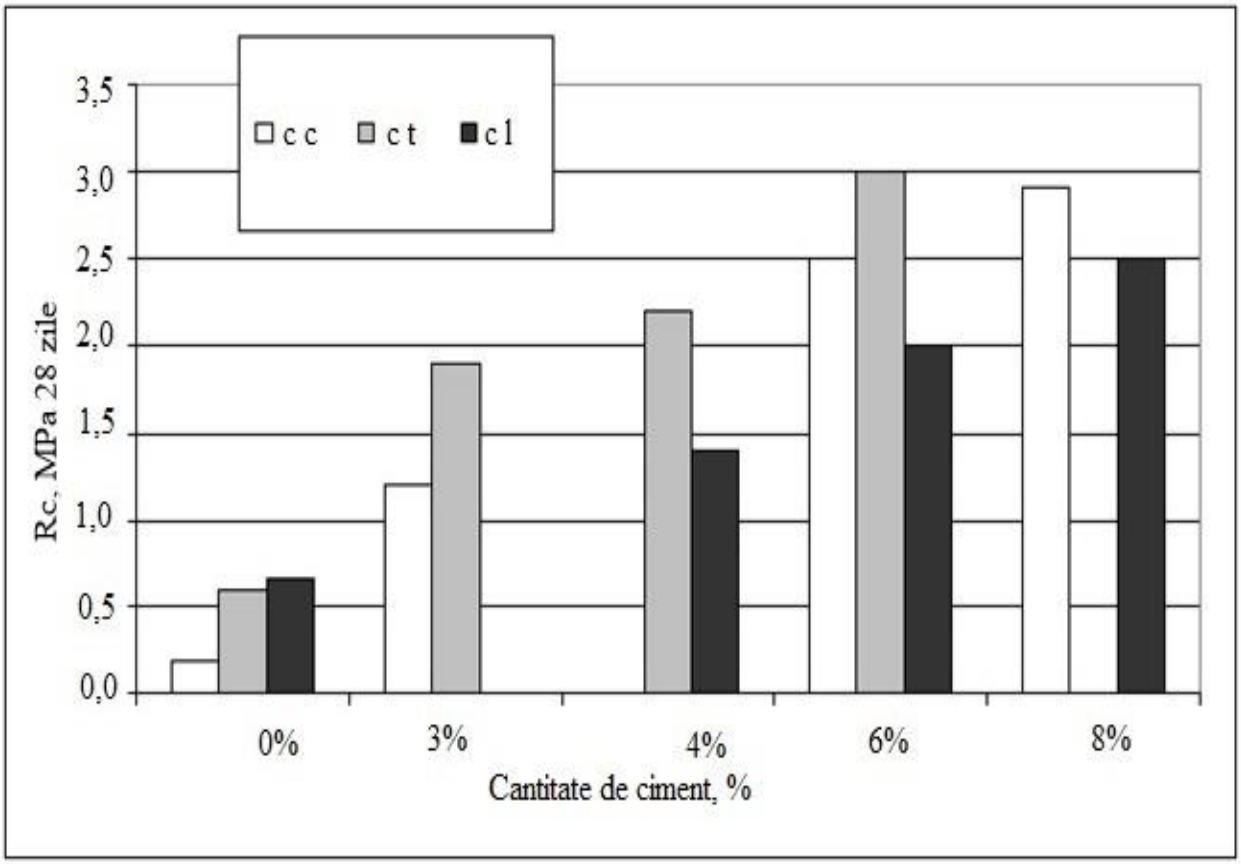


Fig. 3.8. Efectul cantităţii de ciment adăugat asupra rezistenţei, în cazul a trei tipuri diferite de CF (câteva situaţii particulare)

Este evident că efectele lianţilor şi ale amestecurilor de lianţi diferă pentru CF diferite.

În figura 3.9 sunt prezentate efectele comparative a anumitor lianţi (6 % din masa uscată) pentru diferite categorii de CF, întărite timp de 28 de zile.

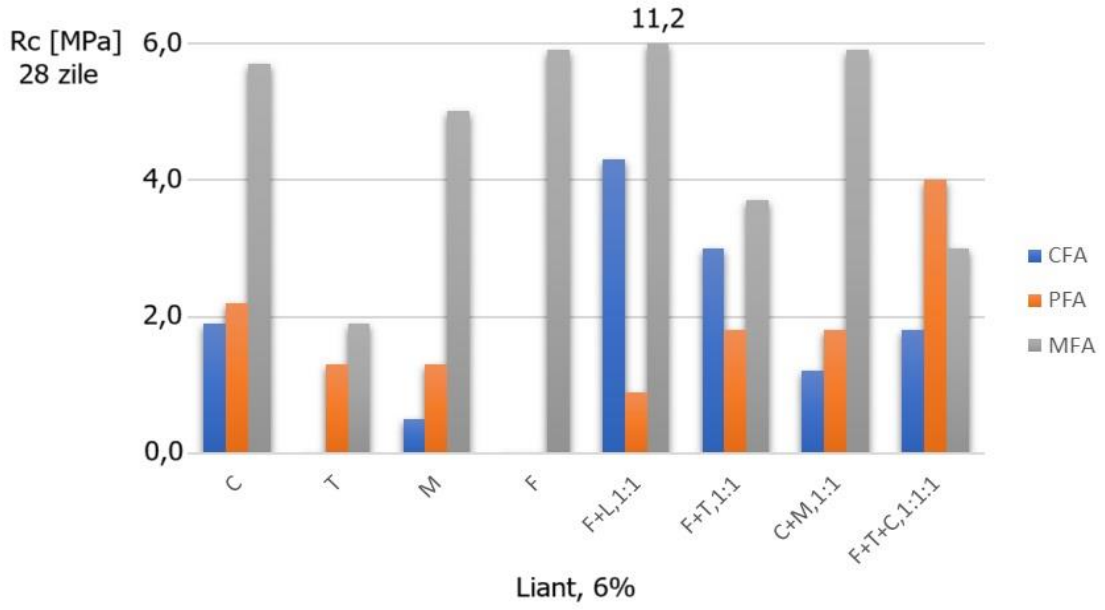


Fig. 3.9. Efectul unor lianţi (6%) asupra rezistenţei a trei CF, întărite timp de 28 de zile C = ciment, L = var (CaO), T = var hidratat, M =zgură de furnal, F = produs finlandez

Fiecare liant are o reactivitate caracteristică şi un timp de întărire care îi este specific. Rezultatele Figurii 3.9 ar fi fost diferite dacă s-ar fi utilizat alte cantităţi de liant şi alţi timpi de întărire. Figura arată că merită testate diferitele proporţii de lianţi datorită efectelor semnificativ diferite ale acestora. Studiile arată că CF obţinute din deşeuri lemnoase tind să dezvolte o bună rezistenţă în prezenţa tuturor tipurilor de lianţi.

Proprietăţile ce ţin de utilizarea pe timp de iarnă a CF pot fi îmbunătăţite cu ajutorul clorurii de calciu, $CaCl_2$ (CC). Există studii privind îmbunătăţirea CF cu produse cum ar fi CC (fulgi sau soluţie) şi deşeuri de filtru (DF). DF este un produs rezultat din procesul de fabricare al clorurii de calciu (CC) şi conţine var liber, gips şi 20 – 30 % CC. Figura 3.10 a confirmat că rezistenţa şi compactitatea dezvoltate de CF la – 5°C vor fi în mod clar mai eficiente prin adăugarea a numai 2 % DF sau 1,2 % soluţie de CC decât în lipsa acestui aditiv. Procesul de cimentare va începe numai după dezgheţarea structurii ce conţine CF, chiar şi atunci când compactarea s-a realizat în timpul perioadei de îngheţ a acesteia. Figura 3.10 b a confirmat o îmbunătăţire a rezultatelor compactării unei anumite CF (dezgheţate), amestecată cu diferite săruri. Adaosul de săruri reduce de asemenea şi expansiunea la temperaturi scăzute a materialelor sensibile la îngheţ. Există studii care arată că CF sensibile la îngheţ pot fi ameliorate prin adăugarea unei mici cantităţi de CC [119]. Cel mai eficient adaos a fost cel de 2 % fulgi de CC, dar aceste rezultate ar trebui susţinute şi prin alte cercetări ulterioare.

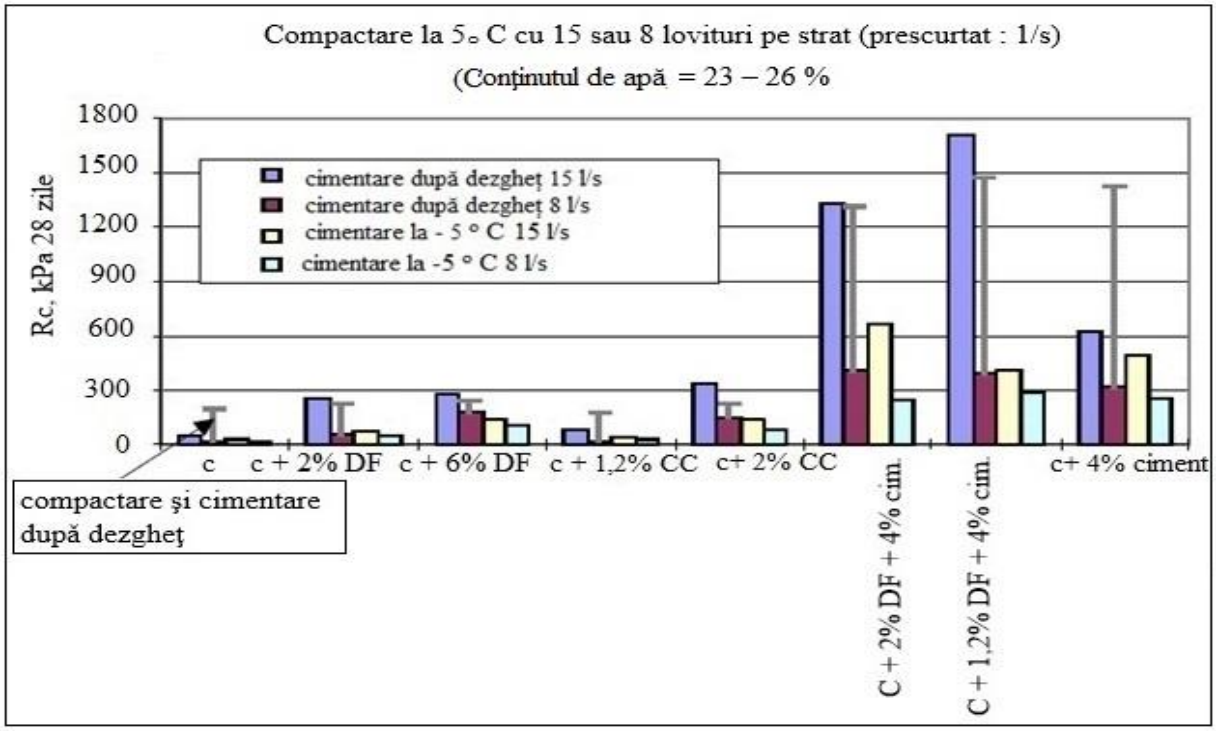


Fig. 3.10 a. Procesul de cimentare al CF de haldă (w = 23 – 26 %)

Compactarea probelor la -5^{0}C cu 15 sau 8 lovituri pe strat (l/s)

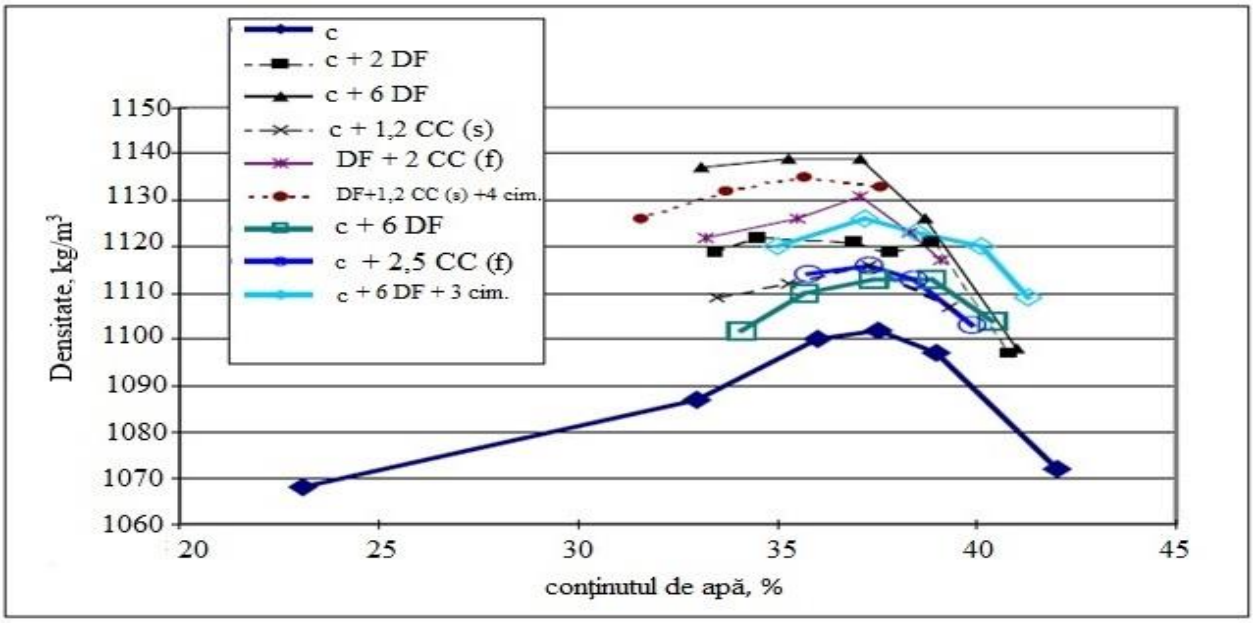


Fig. 3.10 b. Densitatea în vrac a CF de haldă (w = 23 – 26 %)

c - CF; w - conţinutul de apă; DF - deşeuri de filtru; CC - clorură de calciu; cim – ciment.

Lianţii pot fi de asemenea utilizaţi pentru a îmbunătăţi comportarea ambientală a CF [120]. Figura 3.11 prezintă efectul diferiţilor lianţi asupra solubilităţii metalelor grele dintr-o CF. Se observă că zgura de furnal împiedică transmiterea câtorva metale grele în mediul înconjurător.

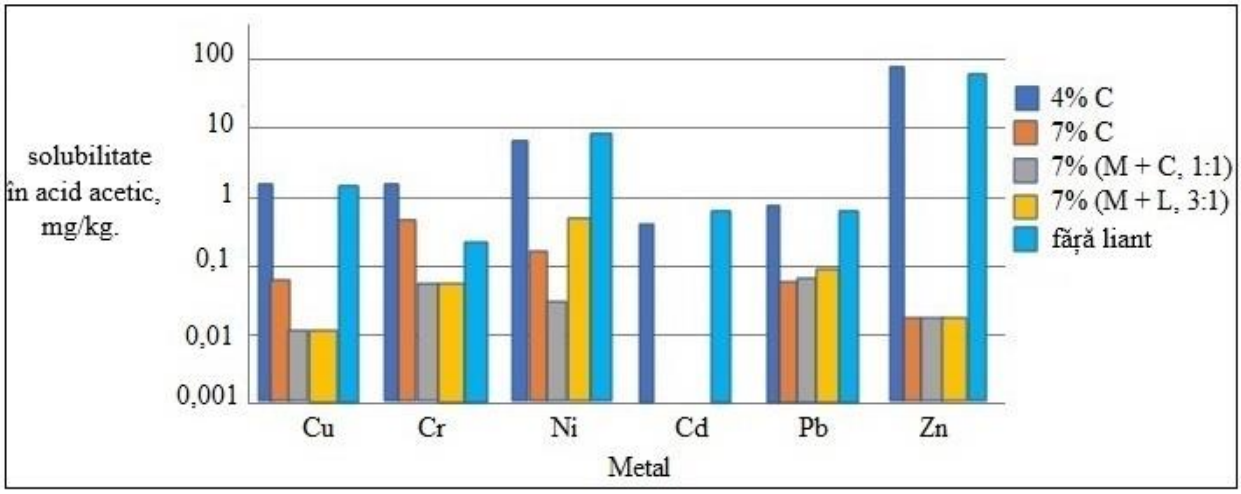


Fig. 3.11. Efectul diferiţilor lianţi asupra solubilităţii metalelor grele din CF

C = ciment M = zgură de furnal L = var

În funcţie de condiţiile impuse structurii (capacitate portantă, tasare diferenţială, etc.) proporţiile elementelor componente pot fi modificate fără restricţii deosebite, pentru a optimiza proprietăţile amestecului cu cenuşă CET [121]. În Figurile 3.12 și 3.13 sunt prezentate modificările rezistenţei și ale deformaţiei relative, ca urmare a schimbării raportului de cenuşă şi fibră vegetală al amestecului. Proporţia crescută de fibre face să scadă rezistenţa şi modulul de elasticitate, dar permite o mai mare deformaţie maximă. O proporţie medie de fibre face ca materialul să devină elasto - plastic, de exemplu proporţia de 20% fibre din Figura 3.13. Pentru o capacitate portantă ridicată (de exemplu la autostrăzi) raportul de fibre trebuie să fie relativ scăzut. Pe de altă parte, pentru a asigura o rezistenţă la îngheţ şi la deformaţii datorate lucrărilor de tasare (în cazul drumurilor secundare), cantitatea de fibre trebuie să fie relativ crescută [122].

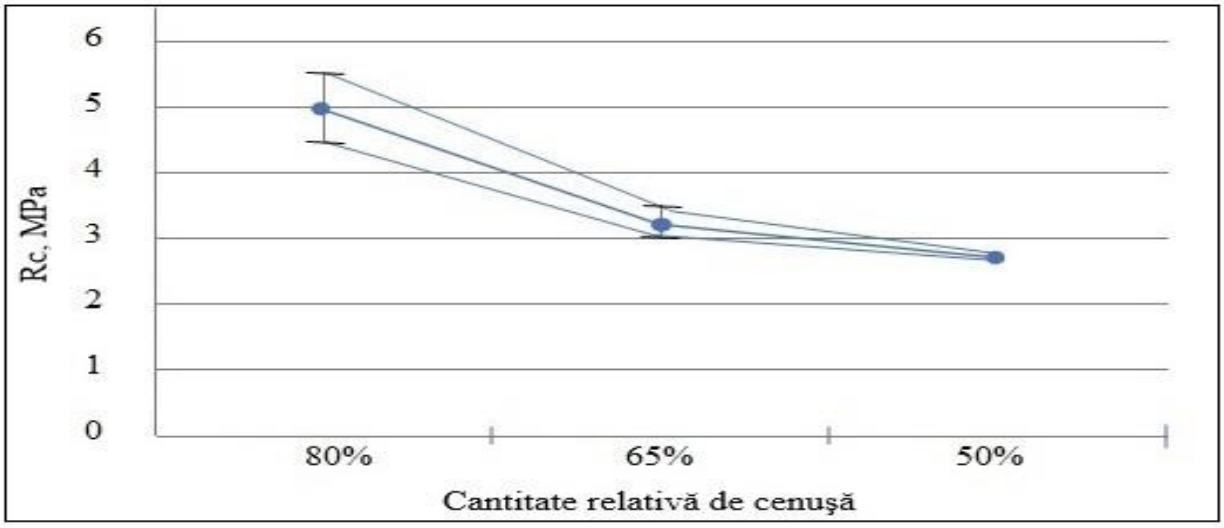


Fig. 3.12. Modificarea rezistenţei unui amestec de cenuşă şi fibre vegetale prin variaţia cantităţii relative de cenuşă

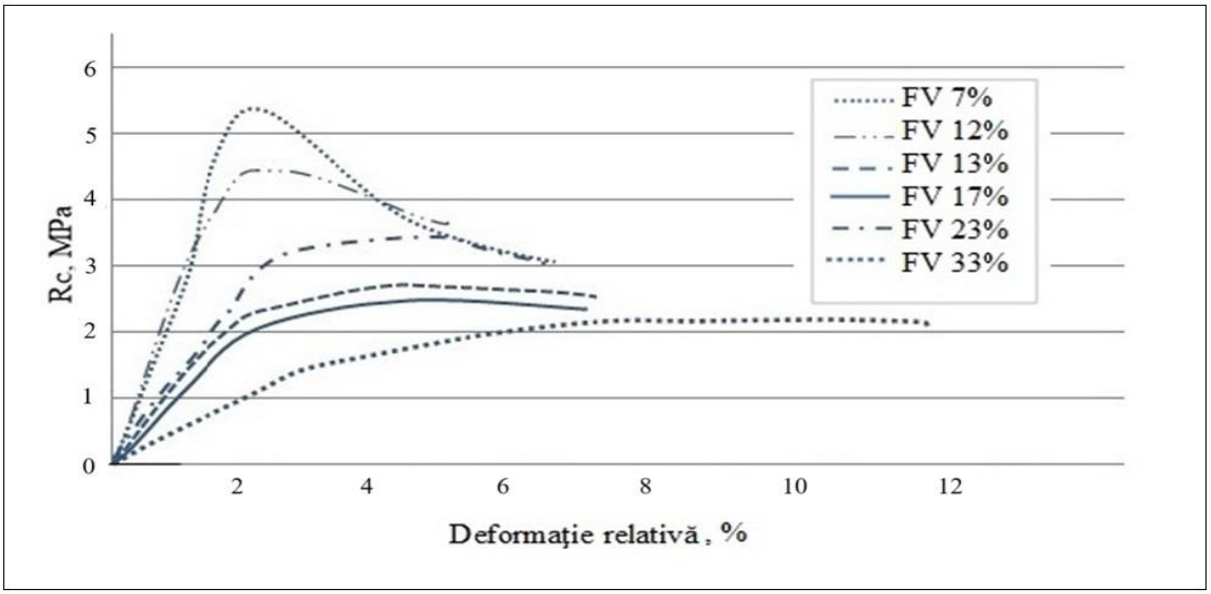


Fig. 3.13. Deformaţie relativă modificată prin variaţia cantităţii relative de fibre vegetale (FV). Rezistenţa la compresiune a fost măsurată la 28 de zile.

Pe lângă variaţia raportului componentelor, proprietăţile amestecurilor cu cenuşă CET pot fi îmbunătăţite şi prin adăugarea de lianţi sau stabilizatori, în diferite proporţii [123]. Figurile 3.14 și 3.15 prezintă efectul cantităţii de liant asupra deformaţiei la efort ale amestecului de cenuşă şi diferiţi stabilizatori.

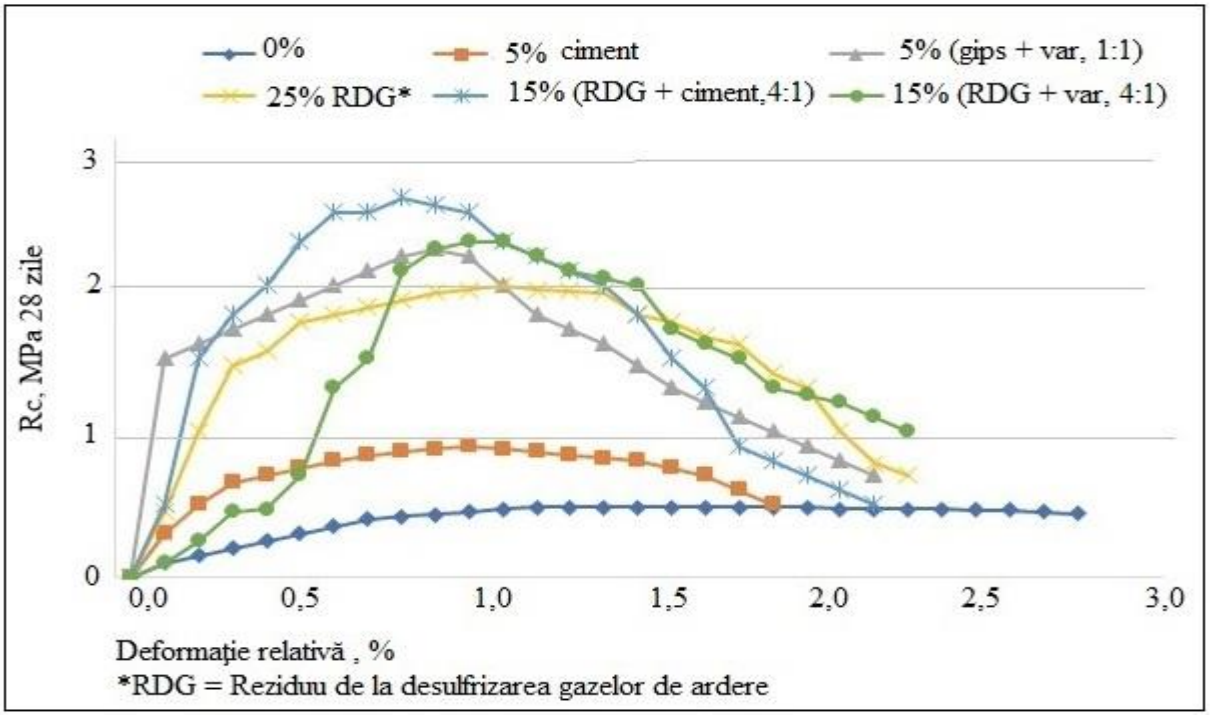


Fig. 3.14. Efecte produse de diferiţi lianţi asupra deformaţiei la efort a amestecului cu cenuşă

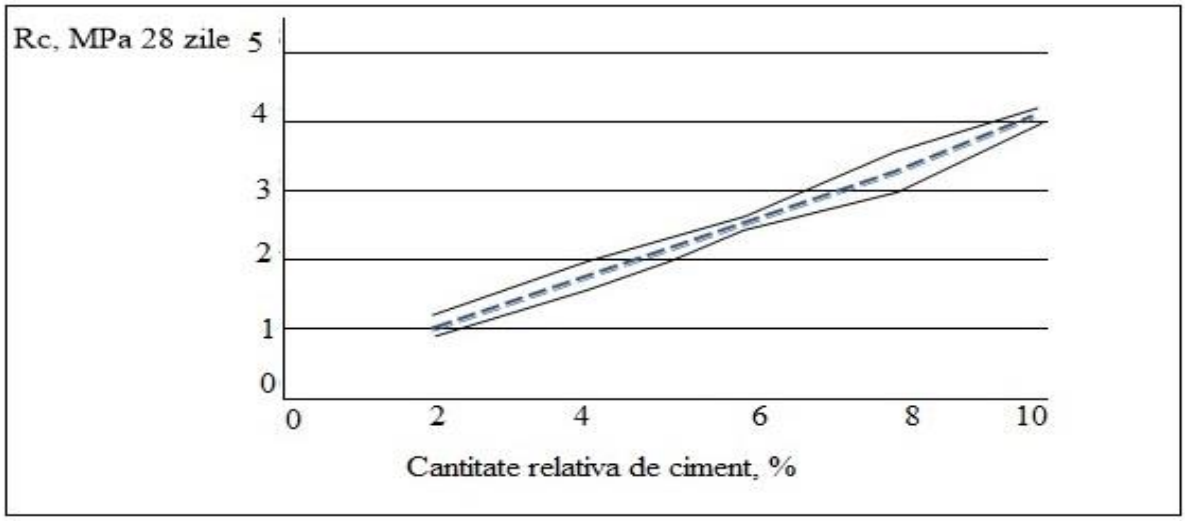


Fig. 3.15. Efecte produse de cantitatea de ciment asupra rezistenţei la compresiune a amestecului cu cenuşă

3.5. Rezultatele cercetărilor privind combinarea cenuşilor fine de termocentrală cu diferiţi lianţi în vederea utilizării în structuri rutiere

Proprietăţile amestecurilor cu cenuşi CET utilizate în construcţia de drumuri depind în mare măsură de eficienţa tehnologiei de amestecare şi de acurateţea dozajului din procesul de fabricaţie al produsului final. Metodele de punere în lucru a materialului, în special metoda de compactare, pot avea de asemenea un efect important asupra rezultatului final [124]. Figura 3.16 prezintă diferenţele dintre proprietăţile unui amestec de gips şi cenuşă rezultat dintr-un mixer convenţional (CON) şi respectiv dintr-un mixer de impact (IM). Viteza mare de rotaţie a tobei mixerului de impact face ca particulele materialului să se lovească puternic între ele [125], ceea ce conduce la distrugerea microstructurii produsului. Acest lucru poate fi remarcat în fotografiile din Figura 3.17. Figura 3.18 prezintă rezultatele studiului privind efectul compactităţii relative asupra creşterii rezistenţei unei cenuşi CET şi a unui amestec cenuşă - ciment.

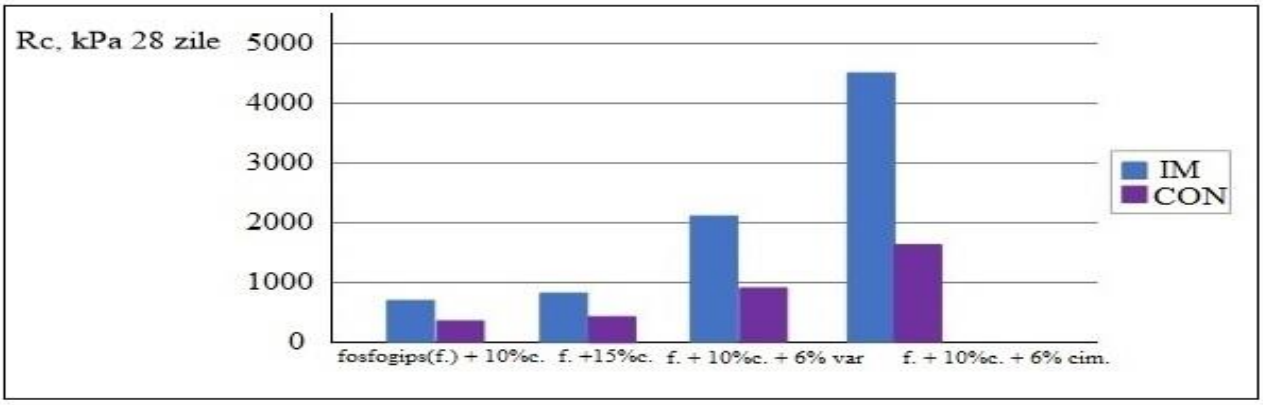


Fig. 3.16. Diferenţele dintre proprietăţile unui amestec de gips şi cenuşă rezultat dintr-un mixer convenţional (CON) şi respectiv dintr-un mixer de impact (IM).

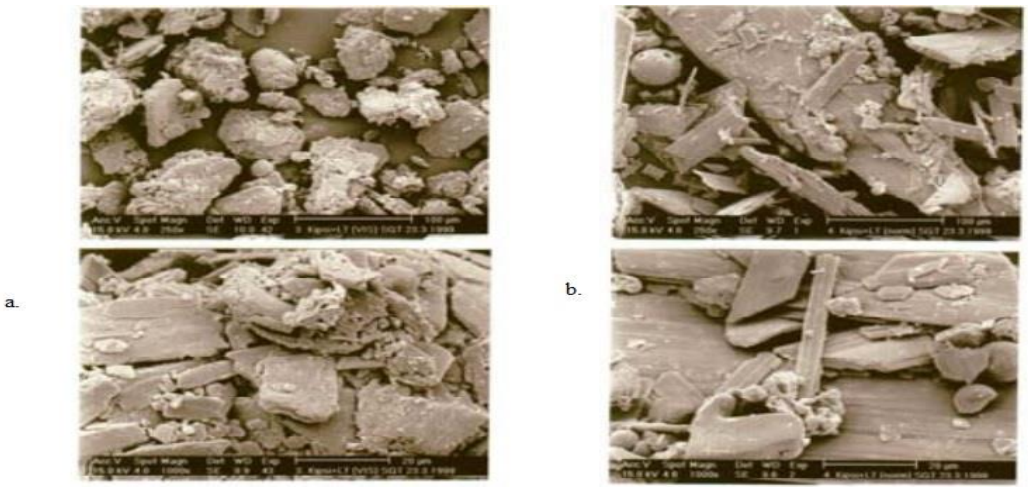


Fig. 3.17. Structura amestecurilor de gips - cenuşă realizate cu a) mixerul de impact (IM) şi b) mixerul convenţional (CON) Imagini obținute cu microscopului electronic

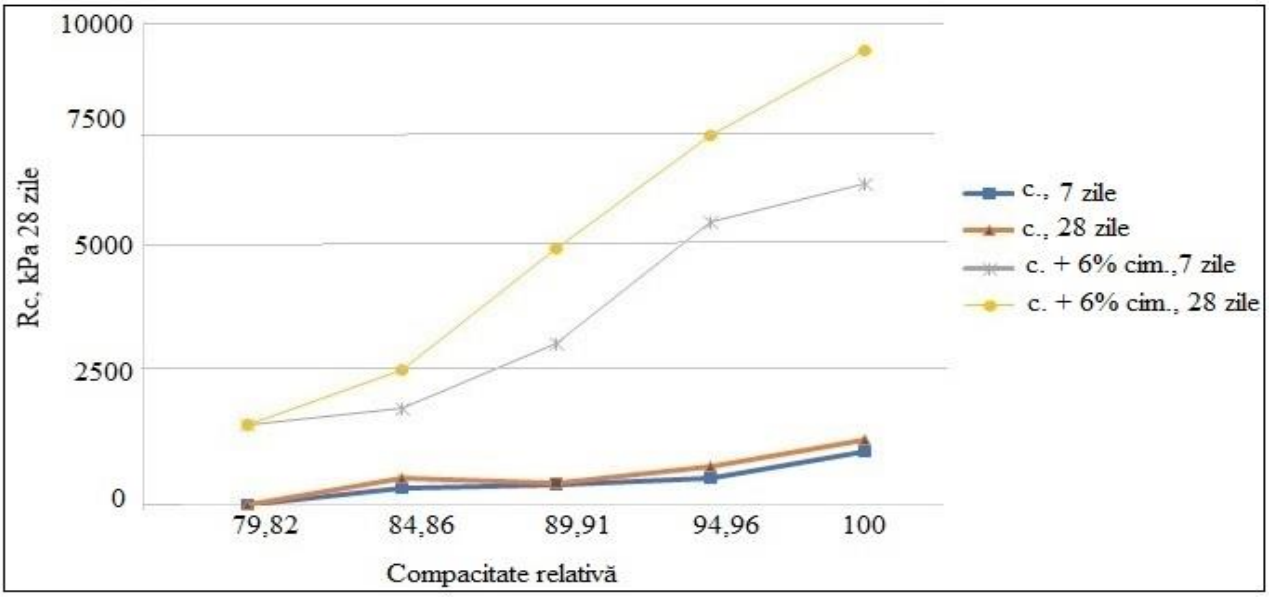
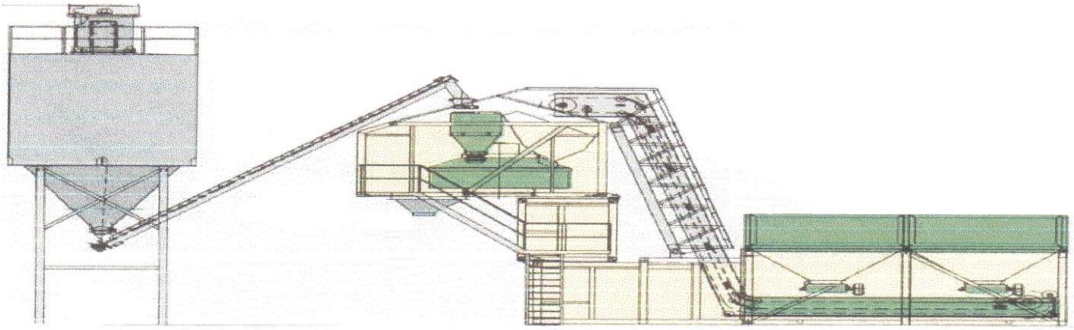


Fig. 3.18. Efectul compactităţii relative asupra creşterii rezistenţei la compresiune a unei cenuşi CET şi a unui amestec cenuşă – ciment

Eficienţa echipamentului de amestecare afectează într-o mare măsură calitatea unor amestecuri cum ar fi fibre lemnoase - cenuşă sau gips - cenuşă. Alţi factori care influenţează semnificativ calitatea materialelor sunt precizia raportului componentelor şi cantitatea de liant. Există diferite echipamente de amestecare, atât fixe (Figura 3.19), cât și mobile (Figura 3.20) [126]. Testarea echipamentelor de amestecare a arătat că dezvoltarea acestora reprezintă o mare provocare pentru producători. Ele trebuie să fie economice şi să aibă o mare capacitate de producţie și, în acelaşi timp, să asigure o înaltă calitate a amestecului. O staţie de amestecare fixă

(Figura 3.19) trebuie folosită doar atunci când amestecul de materiale reziduale este produs în apropierea locului de depozitare, deoarece costurile de mutare şi instalare ale acesteia sunt foarte ridicate. În rest, echipamentul de amestecare trebuie să fie uşor de mutat dintr-un loc într-altul (Figura 3.20) [127].



MATERIALE	AVANTAJE	DEZAVANTAJE
CF stabilizată CF şi reziduu de la desulfurizare gaze	Proporţii precise Capacitate mare de producţie	Cost ridicat (muta-re şi construcţie) Imobilitate

Fig. 3.19. Staţie de amestecare fixă [127, p. 112]

Fig. 3.20. Utilaj de amestecare mobil [128 p. 113]

MATERIALE	AVANTAJE	DEZAVANTAJE
Teste de laborator cu: - gips – cenuşă; - amestec fibre lem-noase – cenuşă.	Rezultate foarte bune în laborator; Proporţii exacte.	Capacitate mică de producţie; Costuri ridicate; Energo-intensiv.

3.6. Rezultatele cercetărilor privind compactarea și optimizarea structurilor ce conţin cenușă de termocentrală

Cercetările experimentale au arătat că un strat cu o grosime de cel puţin 20 cm poate fi compactat până la 92 - 95 % din valoarea maximă a densităţii Proctor (modul de realizare a încercării Proctor prezentat în subcapitolul 4.2.2). Incercarea a fost realizată cu conţinut de apă situat în jurul valorii optime (w_{op}), confirmat și în [129] și cu utilizarea echipamentelor respective. Stratul de CF a fost compactat eficient, după cum rezultă fin Figura 3.21.

La testele în situ, compactarea a fost efectuată după răspândirea materialului şi precompactare, recomandat în [130]. Aceasta sa realizat cu ajutorul unui camion, care a făcut câteva curse în lungul drumului.

Compactarea părţilor laterale ale unei structuri CMR a necesitat măsuri speciale, pentru a preveni pierderile excesive de material şi cimentarea inadecvată [131]. Figura 3.22 prezintă principiile a două metode simple dar eficiente care au fost testate la scară naturală.

Fig. 3.21. Testarea metodelor de compactare a CF a) Suprafaţa este compactată în profunzime cu un utilaj special care lasă însă o suprafaţă neregulată b) ce poate fi nivelată cu un strat fin de piatră spartă

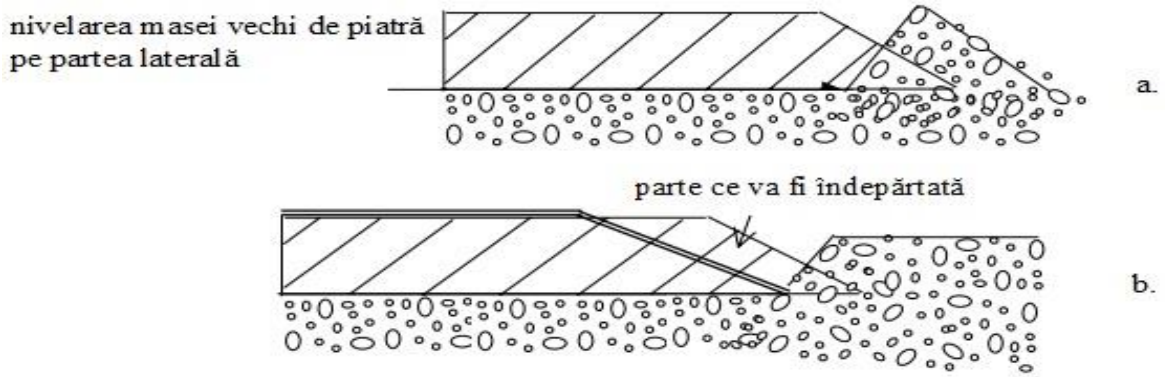


Fig. 3.22. Principiile de compactare a marginilor laterale ale drumului în construcţii CMR a) suport lateral b) o parte laterală extinsă, ce va fi ulterior îndepărtată.

3.7. Concluzii

3.7.1. CF constituie un material destul de valoros pentru aplicaţii în construcţii rutiere. Aproximativ 70 % din cantitatea totală disponibilă de CF poate fi utilizată în construcţii rutiere, iar cantitatea rămasă ar putea fi folosită în alte aplicaţii. Doar o parte foarte mică a CF ar trebui depozitată în halde sau folosită ca material de umplutură datorită calităţii inferioare, cantităţii prea mici disponibile sau locaţiei geografice nefavorabile a capacităţii de producţie.

3.7.2. Există o variaţie semnificativă a calităţii CF provenite de la diferite CET- uri, chiar dacă acestea folosesc combustibili similari sau chiar provenind de la aceeaşi sursă. Variaţia calităţii CF de la arderea turbei este mai mare decât în cazul CF de cărbune. Totodată, diferite loturi de CF provenite de la aceeaşi centrală pot să difere considerabil unele de altele. Aşadar, este important să se realizeze un control continuu al parametrilor geotehnici ai CF.

3.7.3. Amestecurile de fibre vegetale şi CF s-au dovedit materiale de construcţii excelente în domeniul drumurilor. Un asemenea strat, inclus într-o structură rutieră, diminuază eficient efectele temperaturilor scăzute asupra acesteia, cum ar fi expansiunea la îngheţ, tasarea şi fisurarea îmbrăcăminţii rutiere. Proprietăţile amestecurilor fibre-cenuşi pot fi cu uşurinţă modificate prin variaţia adecvată a proporţiilor elementelor componente şi prin alegerea corectă a unor lianţi sau amestecuri de lianţi.

3.7.4. Amestecurile gips-cenuşă şi zgură-cenuşă sunt materiale foarte potrivite pentru straturile de bază, întrucât rigiditatea lor poate fi destul de uşor influenţată prin alegerea corectă a unui liant. Rigiditatea deosebită şi atingerea unei rezistenţe optime pe termen lung, ca şi rezistenţa excelentă la ciclurile îngheţ-dezgheţ permit utilizarea amestecurilor zgură-cenuşă chiar şi pentru proiecte de construcţii foarte pretenţioase

3.7.5. CF reactive prezintă o alternativă competitivă a lianţilor convenţionali în aplicaţii privind stabilizarea vechilor structuri rutiere şi a solurilor moi cum ar fi turba şi argila.

3.7.6. În cazul în care nu se poate conta pe efectul cimentoid al cenușilor, ele pot fi totuși utilizate ca un excelent agregat fin (filer - parte inertă în mixtura asfaltică, mărind stabilitatea şi coeziunea acesteia).

3.7.7. Studiile au demonstrat că materialele compozite formate prin utilizarea CF au o bună rezistență și durabilitate. Acest lucru face ca CF să fie un material extrem de util pentru construirea de terasamente şi drumuri.

4. REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR DE LABORATOR ȘI TEREN ȘI PROCESAREA ZGURILOR DE OȚELĂRIE PENTRU UTILIZAREA ACESTORA ÎN STRUCTURI RUTIERE

4.1. Rezultatele încercărilor de laborator privind utilizarea zgurii de oţelărie în mixturile asfaltice

4.1.1. Rezultatele încercărilor Marshall pe mixturi asfaltice tip BAD 25

Pentru a demonstra că zgurile de oțelărie pot înlocui cu succes criblura în mixturile asfaltice, au fost realizate încercări Marshall pe epruvete având diferite compoziții, care sunt prezentate în cele ce urmează. După cum s-a arătat în subcapitolul 3.1.1., stabilitatea Marshall reprezintă sarcina exprimată în kN, atinsă în momentul când se produce ruperea epruvetei, iar indicele de curgere prezintă deformația atinsă în momentul ruperii și se exprimă în mm.

Rezultatele incercării Marshall pe mixtură asfaltică tip BAD 25 cu zgură 16-25 mm, care înlocuiește în proporție de 100% criblura 16-25 mm.

Au fost realizate două compoziţii de beton asfaltic tip BAD 25 cu 4,5 % bitum, utilizând pentru prima dintre ele criblură 16-25 mm (probele A1, A2 și A3), iar pentru a doua - zgură de oțelărie 16-25 mm (probele D1 și D2). Valorile medii ale stabilității determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.1 și reprezentate grafic în Figura 4.1.

Tabelul 4.1. Stabilitatea la 60°C, daN

Mixtură	**Zgură 16-25,** mm	**Proba**	**D (**diametrul**),** mm	**H (**înălțimea**),** mm	**S (**stabilitatea**),** daN	**Valori minime** SR 174-1, daN
BAD 25	0%	A_1	101,8	68,2	740	500
		A_2	102	66,8	840	500
		A_3	102	67,5	780	500
	100%	D_1	101	66	725	500
		D_2	100	68	755	500

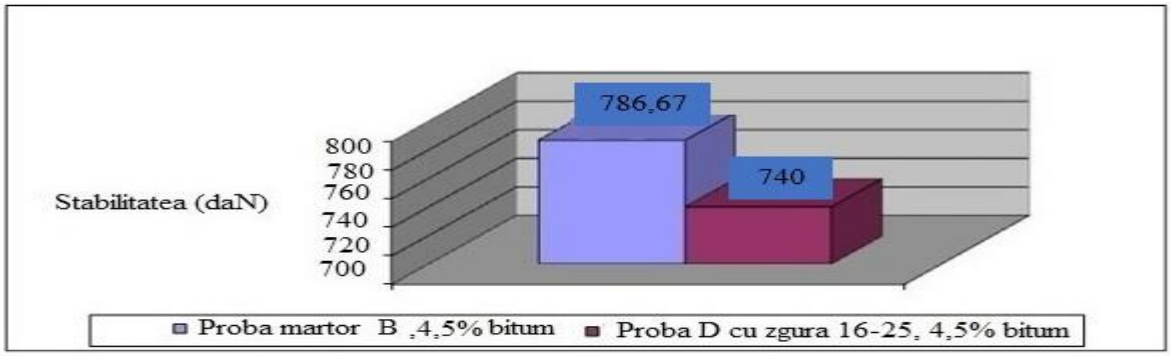


Fig. 4.1. Comparaţie între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 16-25 mm

Valorile medii ale indicelui de curgere determinat pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.2 și reprezentate grafic în Figura 4.2.

Tabelul 4.2. Indicele de curgere, 0,01mm

Mixtură	**Zgură** 16-25 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înălțimea), mm	**Indicele de curgere,** 0,01 mm	**Valori SR 174-1,** 0,01 mm
BAD 25	0%	A_1	101,8	68,2	375	150…..450
		A_2	102	66,8	365	150…..450
		A_3	102	67,5	385	150…..450
	100%	D_1	101	66	374	150…..450
		D_2	100	68	376	150…..450

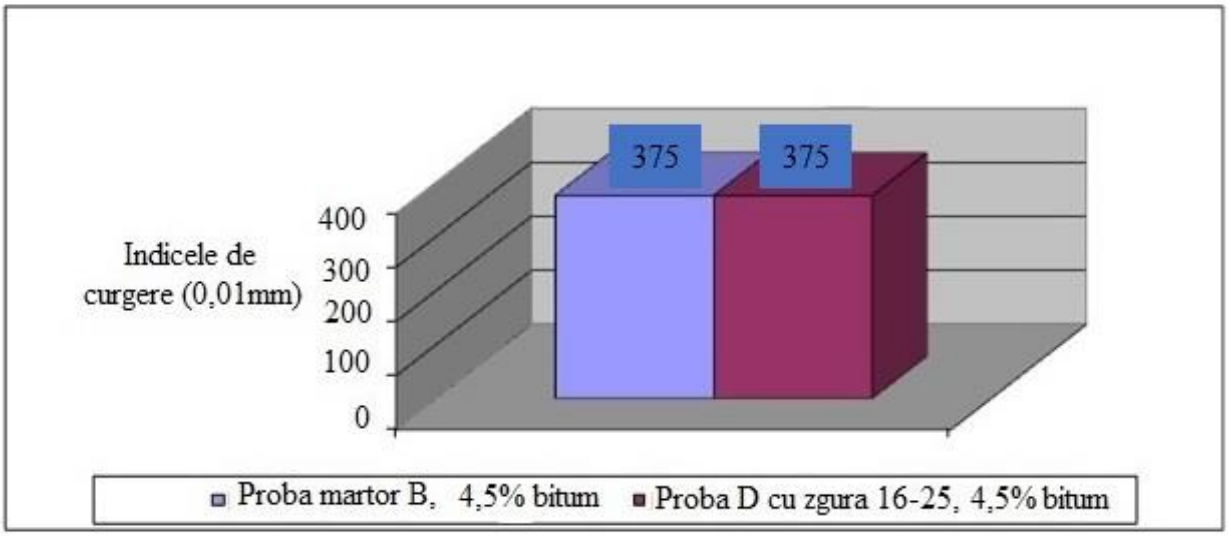


Fig. 4.2. Comparaţie între indicele de curgere determinat pe probe martor și cu zgură 16-25 mm

Valorile medii ale densității aparente determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 16-25 mm sunt prezentate în Tabelul 4.3 și reprezentate grafic în Figura 4.3.

Tabelul 4.3. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$

Mixtură	**Zgură,** 16-25 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înălțimea), mm	G_{aer} greutate în aer, g	G_{aer} greutate în apa, g	**Densitate** aparentă, kg/m^3	**Valori minime** SR 174-1, kg/m^3
BAD 25	0%	A_1	101,8	68,2	1204,8	685,2	2319	2250
		A_2	102	66,8	1202,2	681,8	2310	2250
		A_3	102	67,5	1203,3	683,1	2313	2250
	100%	D_1	101	66	1196,1	695,64	2390	2250
		D_2	100	68	1197,8	692,6	2371	2250

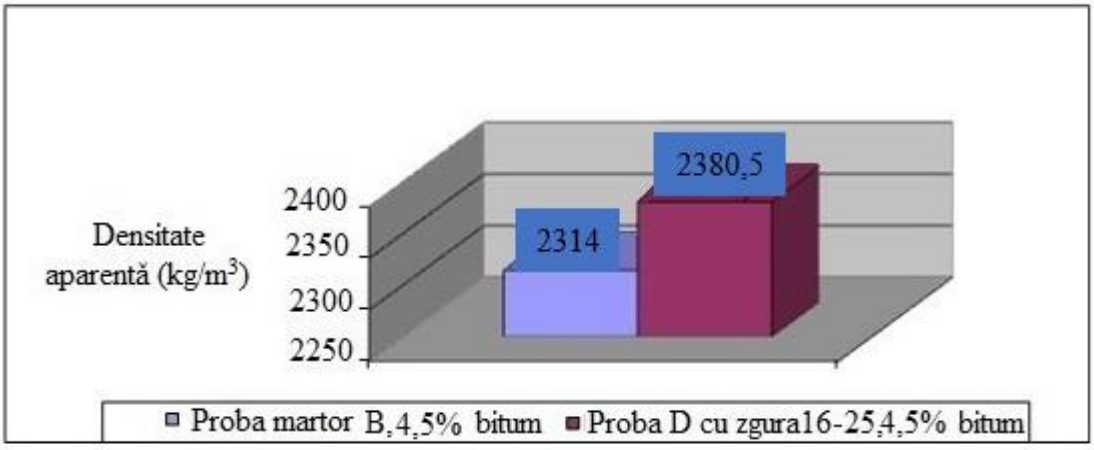


Fig. 4.3. Densitatea aparentă determinată pe probe martor și cu zgură 16-25 mm

Rezultatele încercării Marshall pe mixtură asfaltică tip BAD 25 cu zgură 8-16 mm, care înlocuiește în proporție de 100% criblura 8-16 mm.

S-au realizat două compoziţii de beton asfaltic tip BAD 25 cu 4,5 % bitum, utilizând criblură 8-16 mm (probele B1, B2 și B3) și zgură de oțelărie 8-16 mm (probele E1 și E2). Valorile medii ale stabilității determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.4 și reprezentate grafic în Figura 4.4.

Tabelul 4.4. Stabilitatea la 60ºC, daN

Mixtură	**Zgură,** mm 8-16	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înălțimea), mm	**S** (stabilitatea), daN	**Valori minime** SR 174-1, daN
BAD 25	0%	B_1	101.8	68,2	740	500
		B_2	102	66,8	840	500
		B_3	102	67,5	780	500
	100%	E_1	100,8	65	780	500
		E_2	101	63,3	800	500

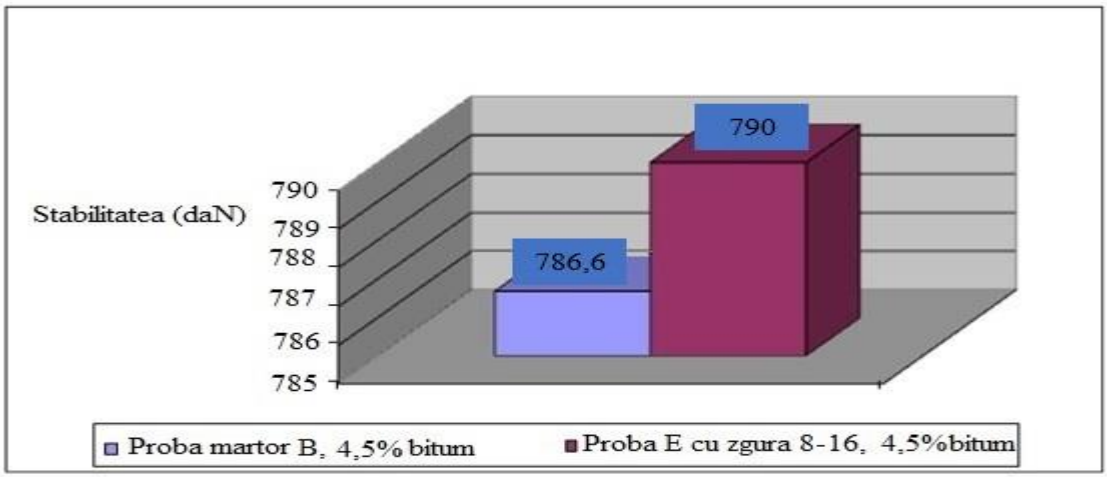


Fig. 4.4. Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 8-16 mm

Valorile medii ale indicelui de curgere determinat pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.5 și reprezentate grafic în Figura 4.5.

Tabelul 4.5. Indicele de curgere, 0,01 mm

Mixtură	**Zgura** 8-16 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înălțimea), mm	**Indicele de curgere**, 0,01 mm	**Valori** SR 174-1, 0,01 mm
BAD 25	0%	B_1	101,8	68,2	375	150…..450
		B_2	102	66,8	365	150…..450
		B_3	102	67,5	385	150…..450
	100%	E_1	100,8	65	369	150…..450
		E_2	101	63,3	362	150…..450

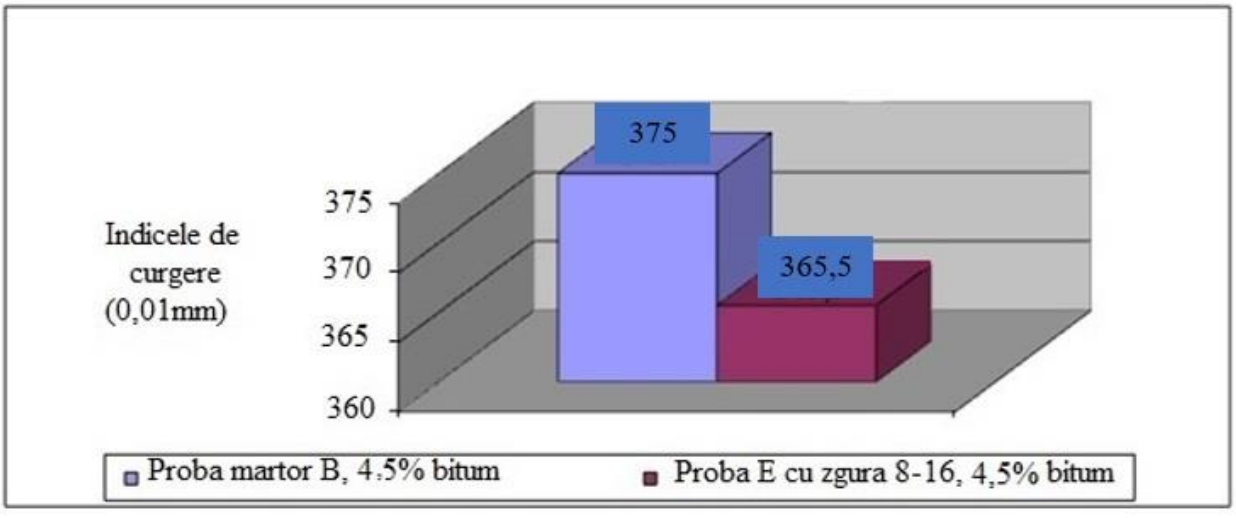


Fig. 4.5. Indicele de curgere determinat pe probe martor și cu zgură 8-16 mm

Valorile medii ale densității aparente determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm sunt prezentate în Tabelul 4.6 și reprezentate grafic în Figura 4.6.

Tabelul 4.6. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$

Mixtură	**Zgură,** 8-16 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înalțimea), mm	**G_{aer},** greutate în aer, g	**G_{aer},** greutate în apă, g	**Densitate aparentă,** kg/m^3	**Valori minime** SR 174-1, kg/m^3
BAD 25	0%	B_1	101,8	68,2	1204,8	685,2	2319	2250
		B_2	102	66,8	1202,2	681,8	2310	2250
		B_3	102	67,5	1203,3	683,1	2313	2250
	100%	E_1	100,8	65	1197,5	702,8	2421	2250
		E_2	101	63,3	1198,1	704,9	2429	2250

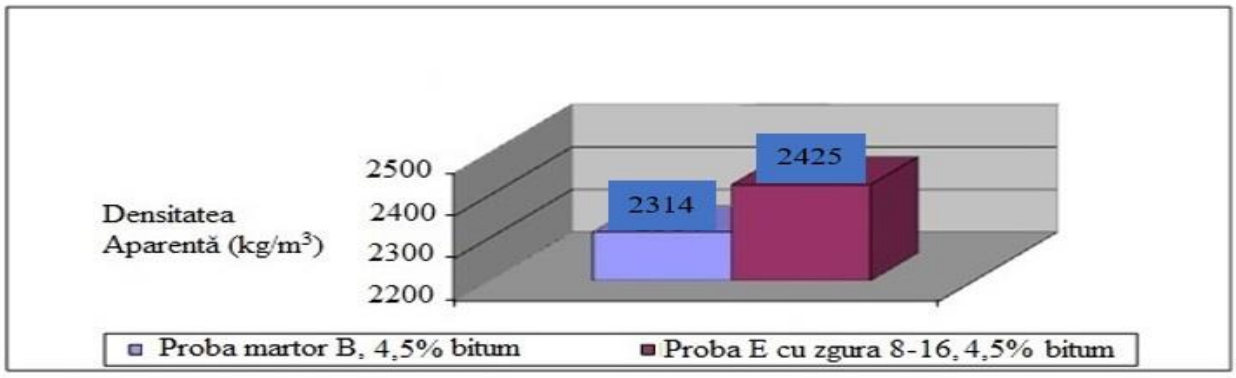


Fig. 4.6. Comparație între densitatea aparentă determinată pe probe martor și cu zgură 8-16 mm

Rezultatele încercării Marshall pe mixtură asfaltică tip BAD 25 cu zgură 8-16 mm și 16-25 mm (care înlocuiește în proporție de 100% criblura 8-16 mm și 16-25 mm).

În continuare, au fost realizate alte două compoziţii de beton asfaltic tip BAD 25 cu 4,5 % bitum, utilizând criblură 8-16 mm și 16-25 mm (probele C1, C2 și C3) și zgură de oțelărie 8-16 mm și 16-25 mm (probele F1 și F2).

Valorile medii ale stabilității determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm și 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.7 și reprezentate grafic în Figura 4.7.

Tabelul 4.7. Stabilitatea la 60ºC, daN

Mixtură	**Zgură** 8-16 și 16-25 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înalțimea), mm	**S** (stabilitatea), daN	**Valori minime** SR 174-1, daN
BAD 25	0%	C_1	101.8	68,2	740	500
		C_2	102	66,8	840	500
		C_3	102	67,5	780	500
	100%	F_1	101	66	820	500
		F_2	100.5	63,5	780	500

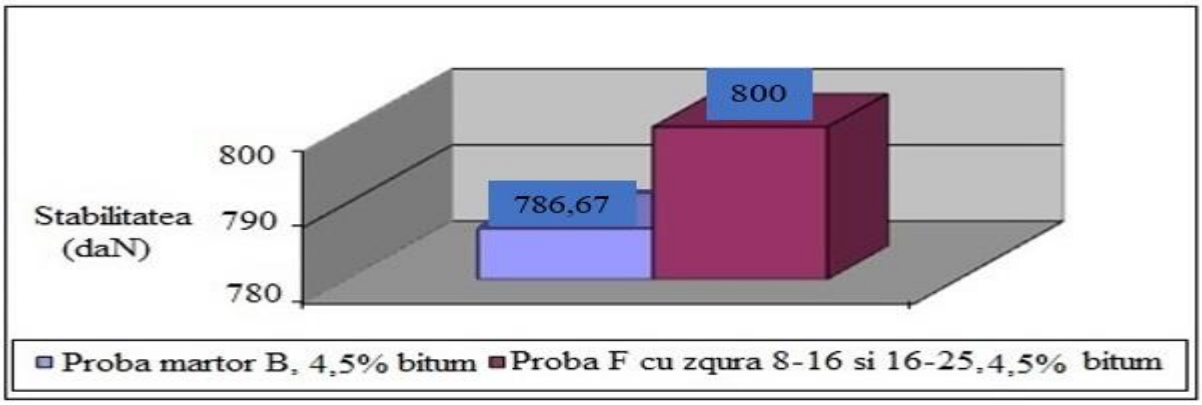


Fig. 4.7.Comparație între stabilitatea determinată pe probe martor și cu zgură 8-16-25 mm

Valorile medii ale indicelui de curgere determinat pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm și 16-25 mm, sunt prezentate în Tabelul 4.8 și reprezentate grafic în Figura 4.8.

Tabelul 4.8. Indicele de curgere, 0.01mm

Mixtură	**Zgură** 8-16-25 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înalțimea), mm	**Indicele de curgere**, 0,01mm	**Valori** SR 174-1 0,01, mm
BAD 25	0%	C_1	101,8	68,2	375	150…..450
		C_2	102	66,8	365	150…..450
		C_3	102	67,5	385	150…..450
	100%	F_1	101	66	333	150…..450
		F_2	100,5	63,5	314	150…..450

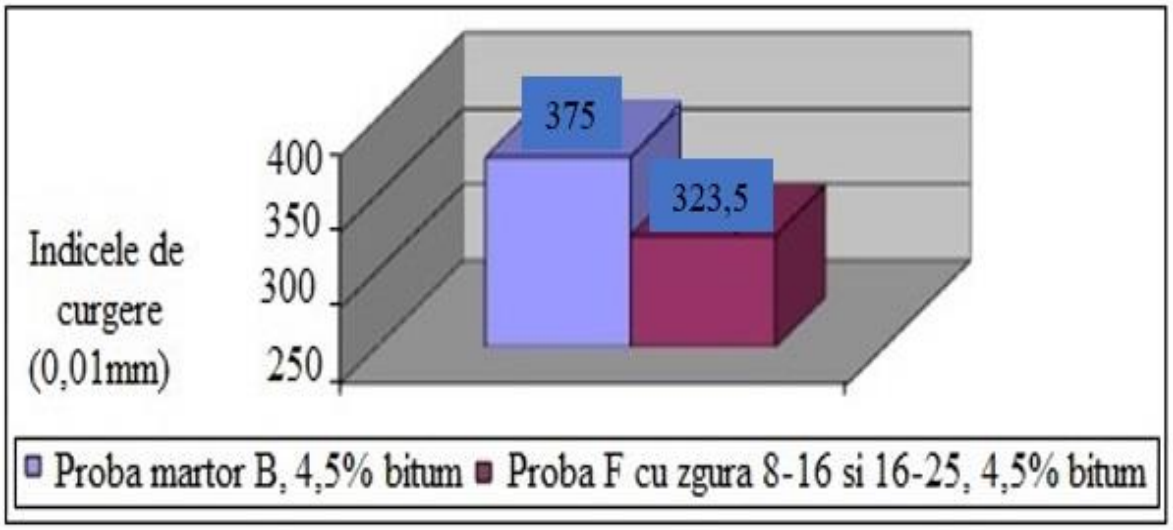


Fig. 4.8. Comparaţie între indicele de curgere pe probe martor și cu zgură 8-16 mm și 16-25 mm

Valorile medii ale densității aparente determinate pe epruvete cilindrice confecţionate din mixturi asfaltice ce conțin criblură 8-16 mm și 16-25 mm și, respectiv, zgură de oțelărie 8-16 mm și 16-25 mm sunt prezentate în Tabelul 4.9 și reprezentate grafic în Figura 4.9.

Tabelul 4.9. Densitatea aparentă = $G_{aer}/(G_{aer} - G_{apă})$

Mixtura	**Zgură** 8-16-25 mm	**Proba**	**D** (diametru), mm	**H** (înălțimea), mm	**G_{aer},** greutate în aer, g	**$G_{apă}$,** greutate în apă, g	**Densitate aparentă,** kg/m^3	**Valori minime** SR 174-1, kg/m^3
BAD 25	0%	C_1	101,8	68,2	1204,8	685,2	2319	2250
		C_2	102	66,8	1202,2	681,8	2310	2250
		C_3	102	67,5	1203,3	683,1	2313	2250
	100%	F_1	101	66	1193	703,06	2435	2250
		F_2	100,5	63,5	1196,2	703,94	2430	2250

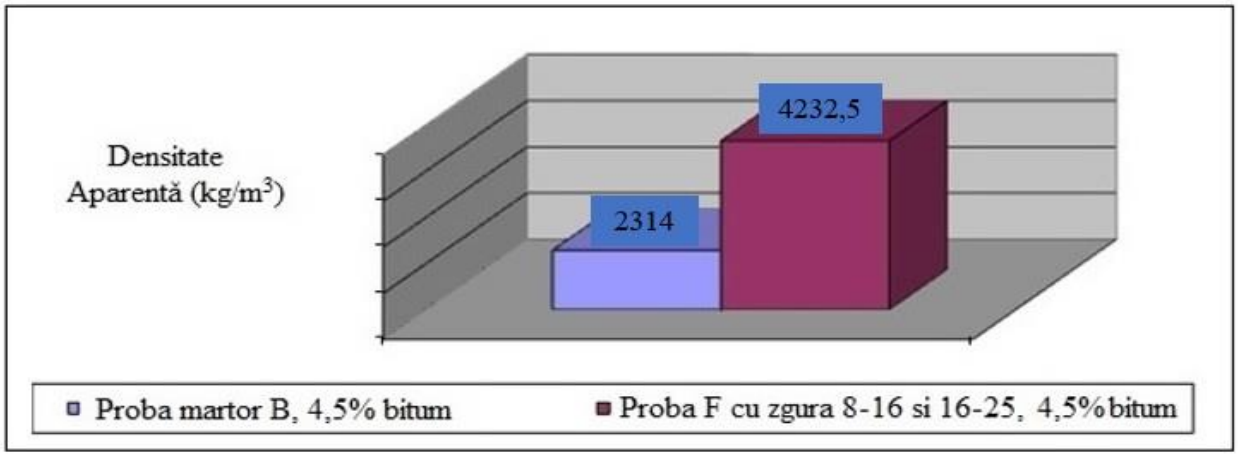


Fig. 4.9. Comparație între densitatea aparentă pe probe martor și cu zgură 8-16 și 16-25 mm

Rezultatele încercărilor prezentate anterior arată că:

- stabilitatea Marshall pentru zgura 16-25 mm a fost ușor inferioară celei a criblurii 16-25 cm (740 daN față de 786,67 daN). În schimb, pentru sorturile 8-16 mm și amestecul de sorturi 8-16 mm și 16-25 mm, stabilitatea Marshall a zgurilor de oțelărie a fost superioară celei a criblurilor (790 daN față de 786,6 daN și 800 daN față de 786,67 daN);
- pentru sortul 16-25 mm, valoarea indicelui de curgere a zgurii și criblurii este identică, iar în cazul sortului 8-16 mm și a amestecului de sorturi, cea a zgurii este puțin mai mică;
- valorile densității aparente a zgurilor de oțelărie depășesc cu mult valorile densității aparente a criblurilor.

4.1.2. Încercări de laborator realizate pe zguri de oţelărie din Republica Moldova

În vederea corelării informațiilor privind zgurile de oțelărie din România și Republica Moldova, am realizat în perioada 03.03..2023 - 17.03.2023 o serie de încercări de laborator la CIPC INCERC TEST SRL, pe eșantioane prelevate din depozitul aflat în orașul Râbnița.

Rezultatele obținute au fost sintetizate în Raportul de încercări nr. 41/17.03.2023 (a se vedea **Anexa 2**). Au fost analizate următoarele sorturi de agregate artificiale concasate din zgură de oțelărie:

- agregat fin sort 0-4 mm;
- agregat grosier concasat sort 4 – 8 mm;
- agregat grosier concasat sort 8 – 16 mm.

Au fost determinate granulozitatea, forma agregatului grosier, coeficientul de absorbție a apei, conținutul de particule fine, masa volumetrică reală și în vrac, rezistența la uzură (Micro-Deval) și rezistența la fragmentare (Los Angeles).

Rezultatele experimentale au arătat faptul că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativelor din Republica Moldova.

4.1.3. Încercări de laborator realizate pe carote din mixturi asfaltice

În perioada 30.03..2023 - 01.04.2023 au fost realizate o serie de încercări de laborator la SC SPEDITION UMB SRL, pe carote prelevate din autostrada de centură a Bucureștiului. Rezultatele obținute au fost sintetizate în Raportul de încercări nr. 1703.5/01.04.2023 (**Anexa 3**).

Au fost determinate densitatea aparentă, gradul de compactare și absorbția de apă.

Rezultatele experimentale au arătat faptul că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativului AND 605 – 2016 [132].

4.2. Rezultatele încercărilor de laborator pentru realizare strat de fundaţie şi strat de bază cu zgură de oţelărie

4.2.1. Obiect şi domeniu de aplicare, descrierea lucrărilor şi a materialelor folosite

Studiile prezentate în continuare sunt destinate înlocuirii agregatelor din piatră naturală pentru stratul de fundaţie şi cel de bază al unui drum cu zgură de oţelărie provenită după recuperarea materialului feros din deşeurile rezultate în urma procesului de obţinere a oţelului în cuptoare cu arc electric.

Sorturile de agregate din zgură de oţelărie sunt 0-8 mm, 8-32 mm şi 32-63 mm. Amestecul obţinut din sorturile menţionate se utilizează ca strat de fundaţie şi strat de bază astfel încât să se înscrie în prevederile SR 662-2002.

Pentru agregatele din zgură de oţelărie trebuie verificată şi constatată stabilitatea chimică ca o condiţie esenţială, cât şi depozitarea şi pregătirea materialului (stropirea permanentă pe o perioadă de minim şase luni de la producerea acestuia).

Execuţia stratului de fundaţie şi a stratului de bază se va face cu respectarea condiţiilor tehnice din SR 662-2002 şi STAS 6400-84, cât şi a celor prevăzute în proiectul de execuţie pentru strat de fundaţie din balast şi strat de bază din balast stabilizat cu ciment.

Au fost utilizate notaţiile din SR 662-2002 şi STAS 6400-84.

Pietrişul concasat reprezintă pietrişul obţinut prin concasarea şi sortarea balastului sau a bolovanilor din balastieră.

Balastul concasat reprezintă balastul obţinut prin concasarea balastului şi a bolovanilor din balastieră, livrându-se în sorturile 0-8, 0-16, 0-25, 0-31, 0-63.

Depozitarea sorturilor de agregate se face în vrac pe platforme special amenajate.

Cu excepția stabilității volumetrice, care se determină prin metodologia germană cu aburi, celelalte caracteristici se determină în conformitate cu metodologiile românești în vigoare.

Principalele caracteristici ale zgurilor de oțelărie în comparație cu cele ale agregatelor concasate și ale agregatelor de balastieră cel mai des utilizate în construcția drumurilor sunt prezentate în Tabelul 4.10 [132].

Tabelul 4.10. Caracteristicile zgurilor, agregatelor concasate și agregatelor de balastieră

Nr. crt.	Caracteristici	Tipul materialului		
		Zguri	Agregate concasate	Agregate de balastieră
1	Densitatea aparentă, kg/m^3	3300 - 3500	2500 - 2700	2600
2	Absorbția de apa, % din masa	0,7 – 1,0	< 0,5	< 0,5
3	Forma granulelor: - coeficient de formă, %	< 10	< 10	< 10
4	Grad de spargere, % din masă	13 - 15	17	21
5	Uzura cu mașina Los Angeles, %	18 - 22	12	21
6	Rezistența la compresiune, N/mm^2	320 - 350	260	250
7	Rezistența la îngheț – dezgheț, % din masă (coeficient de gelivitate)	< 0,5	< 0,5	< 1
8	Adezivitate bitum, %	> 90	> 80	> 80
9	Coeficient de polisare (PSV), %	58 - 61	48	45

Din tabelul anterior se remarcă faptul că zgurile de oțelărie prezintă caracteristici fizico - mecanice superioare celor ale agregatelor concasate și ale agregatelor de balastieră, ceea ce arată că ele pot fi utilizate în locul acestora la realizarea structurilor rutiere.

4.2.2. Încercarea Proctor

Prin încercarea Proctor se determină caracteristicile optime de compactare, respectiv umiditatea optimă de compactare și densitatea maximă a materialului. Există două tipuri de încercări Proctor: normală și modificată. Diferența dintre ele constă în lucrul mecanic aplicat pentru compactare.

Încercarea Proctor sa folosit pentru lucrări de compactare a straturilor de bază și de fundație ale structurilor rutiere, a terasamentelor de drumuri.

Agregatele din zgură de oţelărie utilizate pentru realizarea stratului de fundaţie şi a stratului de bază au fost următoarele:

- sort 0 – 8 mm, 8 – 32 mm și 32 – 63 mm pentru stratul de fundaţie;
- sort 0 – 8 mm și 8 – 32 mm pentru stratul de bază.

Lucrările au fost realizate conform STAS 1913/13-83 [133].

Determinarea caracteristicilor de compactare pentru stratul de fundaţie (sort 0-63 mm).

Au fost determinați parametrii conpactării și caracteristicile de compactare pentru sortul 0-63 mm. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.11 și Tabelul 4.12.

Tabelul 4.11. Parametrii compactării

Cilindru	Diametru, mm	150
	Înălţime, mm	177
	Volum, cm^3	3127,8
Mai	Diametru, mm	50
	înălţime de cădere, cm	45
	Masa, kg	4,5
Compactare	nr.de straturi	5
	nr. de lovituri pe strat	84

Tabelul 4.12. Caracteristici de compactare

Nr. crt.	Caracteristici determinate	Unităţi de măsură	Rezultatele încercărilor				
1.	Masa materialului, m_m	g	7164,2	7325,9	7423,5	7399,1	7439,1
2.	Volumul materialului compactat (V)	cm^3	3127,8	3127,8	3127,8	3127,8	3127,8
3.	Densitatea, $\rho = m_m / V$	g/cm^3	2,290	2,342	2,373	2,366	2,378
4.	Umiditatea medie (w)	%	1,3	2,2	3,2	4,2	5,5
5.	Densitatea în stare uscată, $\rho_d = \rho / (1+ w/100)$	g/cm^3	2,262	2,291	2,299	2,270	2,254
6.	Umiditatea corectată, $w' = w (1 – r)$	%	1,0	1,7	2,4	3,1	4,2
7.	Densitatea în stare uscată Corectată, ($\rho'_{d\ max}$) $\rho'_{d\ max}= \rho_{d\ max}\ \rho_S/(\rho_S-r(\rho_S- \rho_{d\ max}))$	g/cm^3	2,357	2,381	2,388	2,364	2,351

Curba Proctor trasată pe baza datelor din Tabelul 4.12 este caracterizată prin trei puncte de inflexiune: două puncte de maxim și unul de minim (Figura 4.10).

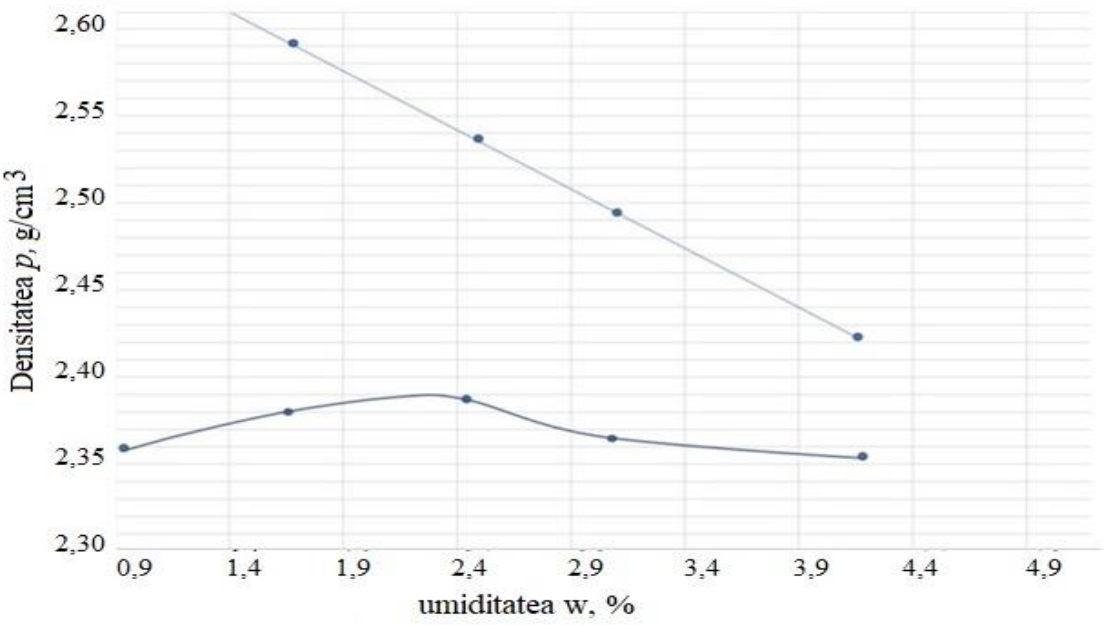


Fig. 4.10. Diagrama Proctor 1 (variaţia densităţii cu conţinutul de apă)

Abscisa punctului de minim reprezintă umiditatea critică de compactare (w_{cr}), care împarte intervalul de umiditate în domeniul uscat ($w < w_{cr}$) și domeniul umed ($w > w_{cr}$). Abscisa și ordonata punctului de maxim în domeniul umed reprezintă umiditatea optimă (w_{opt}^{umed}) și respectiv densitatea maximă în stare uscată ($\rho_{d\ max}^{umed}$) a materialului, în domeniul umed. Abscisa și ordonata punctului de maxim în domeniul uscat reprezintă umiditatea optimă (w_{opt}^{uscat}) și respectiv densitatea maximă în stare uscată ($\rho_{d\ max}^{uscat}$) a materialului, în domeniul uscat.

Din diagramă rezultă că umiditatea optimă în domeniul uscat este de 2,4 %, iar densitatea maximă în stare uscată este de 2,388 g/cm^3. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.13.

Tabelul 4.13. Rezultatele obținute din diagrama Proctor 1

Nr. crt.	Caracteristici de compactare	Unități de măsură	Valori
1	Umiditatea optimă în domeniul umed (w_{opt}^{umed})	%	-
2	Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul umed ($\rho_{d\ max}^{umed}$)	g/cm^3	-
3	Umiditatea critică (w_{cr})	%	-
4	Umiditatea optimă în domeniul uscat (w_{opt}^{uscat})	%	2,4
5	Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul uscat ($\rho_{d\ max}^{uscat}$)	g/cm^3	2,388

Determinarea caracteristicilor de compactare pentru stratul de bază (sort 0-32 mm.)

În continuare, au fost determinați parametrii conpactării și caracteristicile de compactare pentru sortul 0-32 mm. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.14 și Tabelul 4.15.

Tabelul 4.14. Parametrii compactării

CILINDRU	Diametru, mm	150
	Înălțime, mm	177
	Volum, cm^3	3127,8
MAI	Diametru, mm	50
	înăţtime de cădere, cm	45
	Masa, kg	4,5
COMPACTARE	nr. de straturi	5
	nr. de lovituri pe strat	84

Tabelul 4.15. Caracteristici de compactare

Nr. crt.	Caracteristici determinate	Unități de măsură	Rezultatele încercărilor				
1.	Masa materialului, m_m	g	7222,9	7433,7	7418,0	7403,4	7596,2
2.	Volumul materialului compactat (V)	cm^3	3127,8	3127,8	3127,8	3127,8	3127,8
3.	Densitatea, $\rho = m_m / V$	g/cm^3	2,309	2,377	2,372	2,367	2,429
4.	Umiditatea medie, w	%	1,4	2,8	3,8	5,2	6,2
5.	Densitatea în stare uscată, $\rho_d = \rho / (1+ w/100)$	g/cm^3	2,278	2,312	2,284	2,251	2,288
6.	Umiditatea corectată, $w' = w (1 – r)$	%	1,1	2,1	2,9	4,0	4,7
7.	Densitatea în stare uscată corectată, ($\rho'_{d\ max}$) $\rho'_{d\ max}= \rho_{d\ max}\ \rho_S/[\rho_S-r(\rho_S- \rho_{d\ max})]$	g/cm^3	2,364	2,393	2,369	2,341	2,372

Curba Proctor trasată pe baza datelor din Tabelul 4.15 este prezentată în Figura 4.11.

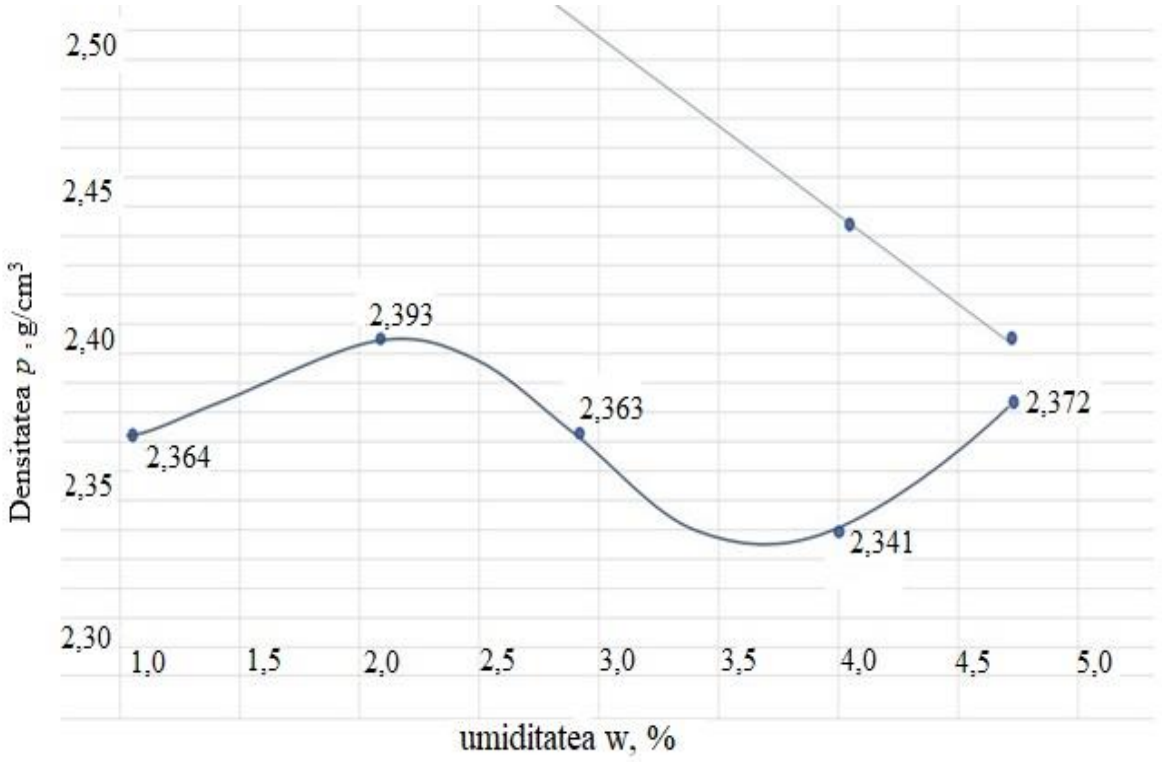


Fig. 4.11. Diagrama Proctor 2 (variația densității cu conținutul de apă)

Din diagramă rezultă că umiditatea optimă în domeniul uscat este de 2,1 %, iar densitatea maximă în stare uscată este de 2,393 g/cm^3. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.16.

Tabelul 4.16. Rezultatele obținute din diagrama Proctor 2

Nr. crt.	Caracteristici de compactare	Unități de măsură	Valori
1	Umiditatea optimă în domeniul umed, w_{opt}	%	-
2	Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul umed, $\rho_{d\,max}^{umed}$	g/cm^3	-
3	Umiditatea critică, w_{cr}	%	-
4	Umiditatea optimă în domeniul uscat, w_{opt}	%	2.1
5	Densitatea maximă în stare uscată, în domeniul uscat, $\rho_{d\,max}^{uscat}$	g/cm^3	2,393

4.2.3. Încercarea Proctor modificată

Pentru încercări a fost utilizată zgura de oţelărie sort 0-25 mm.

Lucrările au fost efectuate în laborator, conform STAS 10473/2-86.

Au fost determinate caracteristicile de compactare pentru zgura de oţelărie sort 0-25 mm, iar pe baza acestora a fost trasată diagrama Proctor modificată 1, prezentată în Figura 4.12.

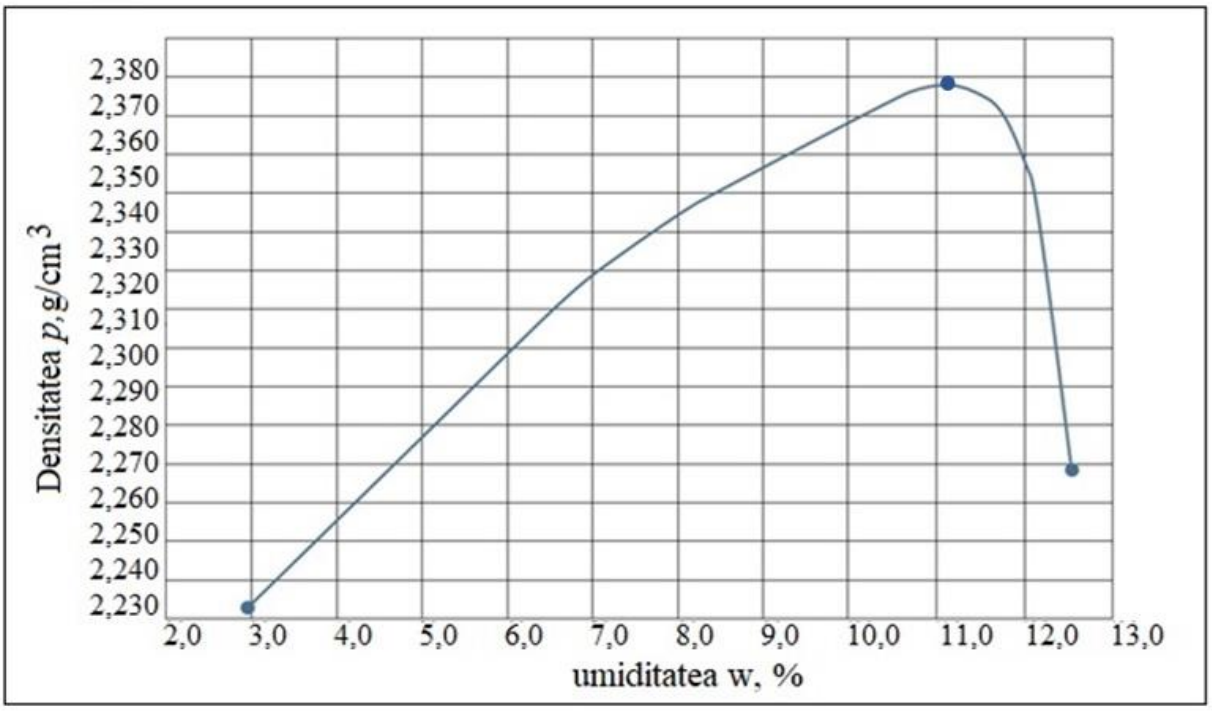


Fig. 4.12. Diagrama Proctor modificată 1 (variația densității cu conținutul de apă)

Din diagramă s-au obținut pentru zgura de oţelărie sort 0-25 mm următoarele valori:

- umiditatea optimă de compactare (domeniul umed), w_{opt} =11,1 %;
- densitatea maximă în stare uscată (domeniul umed), ρ_d = 2,365 g/cm^3.

În continuare sunt prezentate rezultatele încercărilor realizate pe zgură de oțelărie sort 0-25 mm stabilizată cu ciment II AS 32.5 R și, respectiv, zgură de furnal sort 0-1 mm.

Rezultatele cercetărilor pentru zgură de oţelărie sort 0-25 mm stabilizată cu ciment II AS 32.5 R.

Rețeta de preparare pentru materialul obținut din zgură de oţelărie sort 0-25 mm stabilizată cu ciment II AS 32.5 R este prezentată în Tabelul 4.17.

Tabelul 4.17. Reţeta de preparare pentru zgură de oţelărie 0-25 mm și ciment II AS 32.5 R

Nr. crt.	Materiale	Dozaje pentru 1 m^3	
		%	kg
1	Zgură de oţelărie sort 0-25 mm	100	2316
2	Ciment II SA 32,5 R	4,0	92,64
3	Apă	7,8	187,87
4	Total reţetă de fabricaţie		2596,51

Granulozitatea (sau compoziția granulometrică) a fost determină prin cernarea pe site cu mărimea ochiurilor standardizată şi stabilirea cantităţii de particule care trec prin fiecare sită.

Granulozitatea materialului obținut din zgură de oţelărie sort 0-25 mm și ciment II AS 32.5 R este prezentată în Tabelul 4.18.

Tabelul 4.18. Granulozitate

Nr. crt.	⌀ ciur / sită, mm	Treceri, %
1	25	100
2	16	91,57
3	8	64,95
4	4	44,67
5	1	21,57
6	0,5	13,83
7	0,2	7,0
8	0,09	1,76

Au fost determinate caracteristicile de compactare pentru materialul menționat anterior, iar pe baza acestora a fost trasată diagrama Proctor modificată 2, prezentată în Figura 4.13.

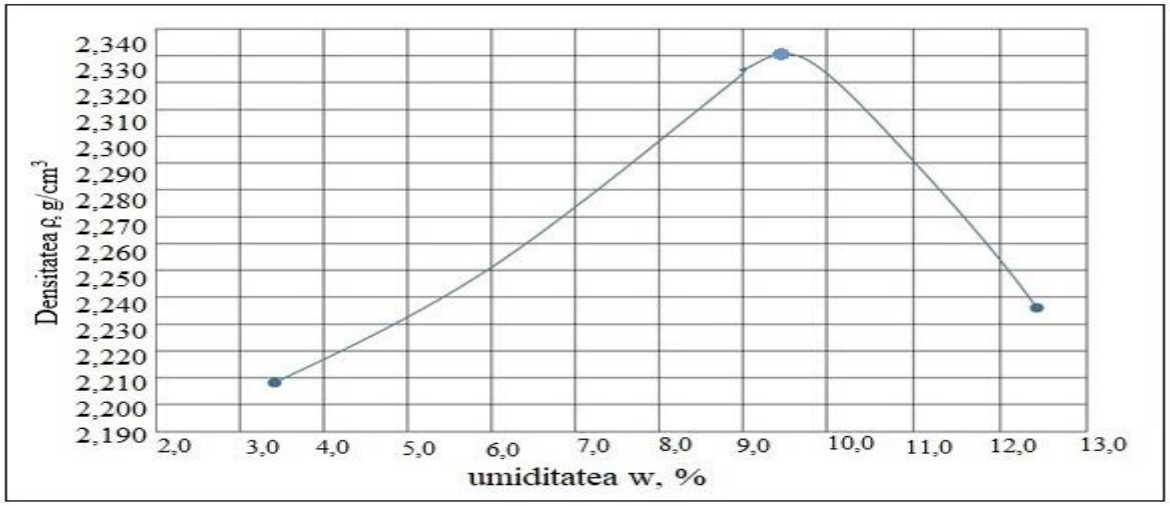


Fig. 4.13. Diagrama Proctor modificată 2 (variația densității cu conținutul de apă)

Din diagramă s-au obținut următoarele valori:

- umiditatea optimă de compactare (domeniul umed), w_{opt} =9,4 %;
- densitatea maximă în stare uscată (domeniul umed), ρ_d = 2,332 g/cm^3.

Pentru zgură de oţelărie sort 0-25 mm stabilizată cu zgură de furnal sort 0-1 mm rețeta de fabricație a fost luată următoarea (dozaj la 1 m^3): zgură de oţelărie sort 0-25 mm și 5% zgură de furnal sort 0-1 mm (2330 kg) + apă (223,68 l) = 2553,68 kg. Granulozitatea materialului obținut din zgură de oţelărie sort 0-25 mm și zgură de furnal sort 0-1 mm este prezentată în Tabelul 4.19.

Tabelul 4.19. Granulozitate

Nr. crt.	⌀ ciur / sită, mm	Treceri, %
1	25	100
2	16	92,45
3	8	65,57
4	4	45,09
5	1	21,78
6	0,5	13,97
7	0,2	7,03
8	0,09	1,79

Au fost determinate caracteristicile de compactare pentru materialul menționat anterior, iar pe baza acestora a fost trasată diagrama Proctor modificată 3, prezentată în Figura 4.14.

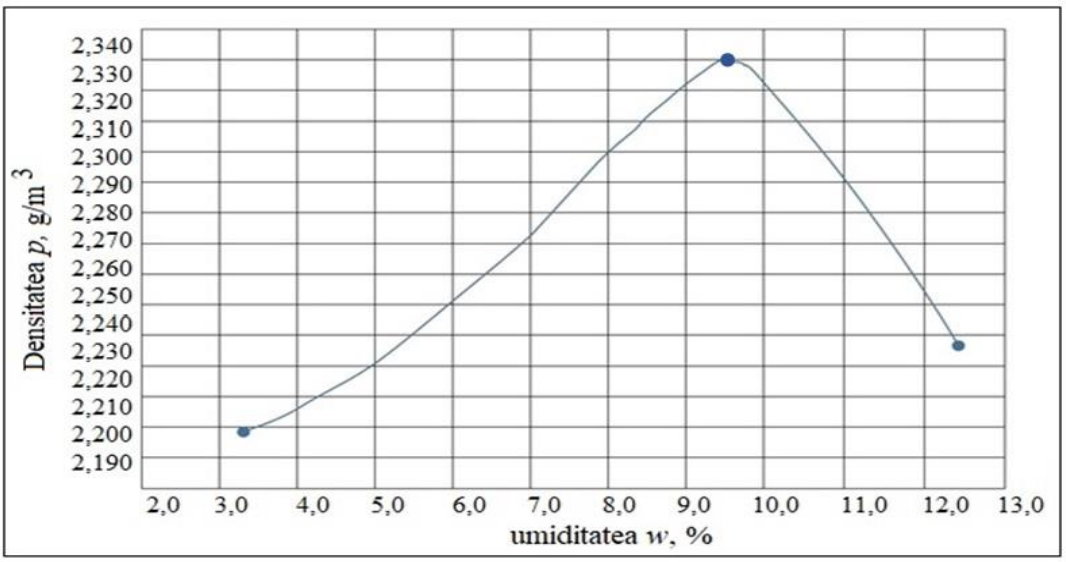


Fig. 4.14. Diagrama Proctor modificată 3 (variația densității cu conținutul de apă)

Din diagramă s-au obținut următoarele valori:

- umiditatea optimă de compactare (domeniul umed), w_{opt} =9,6 %;
- densitatea maximă în stare uscată (domeniul umed), ρ_d = 2,330 g/cm^3.

4.3. Încercări de teren realizate pe structuri rutiere ce conţin zguri de oţelărie

Pentru a aprecia comportarea în timp a drumurilor la care s-au utilizat zguri de oțelărie, a fost util ca pe acestea să fie realizate măsurători deflectometrice prin care să fie determinate deflexiunea caracteristică (prin măsurători folosind pârghia Benkelman) și modulul de deformație (prin încercări realizate cu placa Lucas). Acest lucru a permis analiza viabilității utilizării zgurilor de oțelărie în structuri rutiere, prin compararea rezultatelor obținute cu valorile minime admise în normative. Încercările au fost realizate de un laborator specializat.

4.3.1. Determinarea deflexiunii caracteristice cu pârghia Benkelman

(conform metodologiei prezentate în subcapitolul 2.7.2)

1. Loc de desfăşurare: Bd. Dacia, banda 1 partea dreaptă, tronson km 0+500 : km 1+1000.

Probe supuse încercării (beton asfaltic tip BA 16 strat uzură, realizat cu zgură de oțelărie):

constante deflectometru	A = - 0,57736; B = 2,159046;
greutate camion	75,20 kN;
temperatura stratului supus încercării (T)	20 ^{o}C.

Deflectometrul a fost montat în poziţia 1.

Au fost realizate măsurători în 41 de puncte. Citirile corespunzătoare și valorile calculate pe baza acestora, conform CD 31 - 2002, sunt prezentate în Tabelul 4.20.

Tabelul 4.20. Citiri și valori calculate (tronson km 0+500 : km 1+1000 Bd. Dacia)

Nr.crt	banda 1	Poziție	$c_{2.4}$	$c_{5.0}$	$d_{2.4}$	$d_{5.0}$	d	d_i	d_i^2
1	fir 1, stânga	0	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
2		25	16	18	34,0	38,3	42,6	65,2	4244,7
3		50	20	21	42,6	44,8	46,9	71,8	5148,8
4		75	20	22	42,6	46,9	51,2	78,4	6140,1
5		100	18	20	38,3	42,6	46,9	71,8	5148,8
6		125	17	19	36,1	40,4	44,8	68,5	4685,9
7		150	20	21	42,6	44,8	46,9	71,8	5148,8
8		175	18	19	38,3	40,4	42,6	65,2	4244,7
9		200	17	18	36,1	38,3	40,4	61,8	3825,4
10		225	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
11		250	21	22	44,8	46,9	49,1	75,1	5633,5
12		275	20	22	42,6	46,9	51,2	78,4	6140,1
13		300	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
14		325	21	22	44,8	46,9	49,1	75,1	5633,5
15		350	15	17	31,8	36,1	40,4	61,8	3825,4
16		375	19	21	40,4	44,8	49,1	75,1	5633,5
17		400	12	14	25,3	29,6	34,0	51,9	2698,3
18		425	13	14	27,5	29,6	31,8	48,6	2366,1
19		450	21	22	44,8	46,9	49,1	75,1	5633,5
20		475	23	25	49,1	53,4	57,7	88,3	7790,5
21	fir 2, dreapta	500	19	18	40,4	38,3	36,1	55,2	3052,2
22		12,5	16	19	34,0	40,4	46,9	71,8	5148,8
23		37,5	20	21	42,6	44,8	46,9	71,8	5148,8
24		62,5	22	23	46,9	49,1	51,2	78,4	6140,1
25		87,5	19	20	40,4	42,6	44,8	68.5	4685.9
26		112,5	18	21	38,3	44,8	51,2	78,4	6140,1
27		137,5	17	19	36,1	40,4	44,8	68,5	4685,9
28		162,5	22	23	46,9	49,1	51,2	78,4	6140,1
29		187,5	20	22	42,6	46,9	51,2	78,4	6140,1
30		212,5	17	19	36,1	40,4	44,8	68,5	4685,9
31		237,5	20	22	42,6	46,9	51,2	78,4	6140,1
32		262,5	22	24	46,9	51,2	55,6	85,0	7218,6
33		287,5	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
34		312,5	17	19	36,1	40,4	44,8	68,5	4685,9
35		337,5	15	17	31,8	36,1	40,4	61,8	3825,4
36		362,5	11	13	23,2	27,5	31,8	48,6	2366,1
37		387,5	15	18	31,8	38,3	44,8	68,5	4685,9
38		412,5	16	19	34,0	40,4	46,9	71,8	5148,8
39		437,5	13	14	27,5	29,6	31,8	48,6	2366,1
40		462,5	10	12	21,0	25,3	29,6	45,3	2055,8
41		487,5	13	14	27,5	29,6	31,8	48,6	2366,1
SUMA							**1830,9**	**2800,0**	**195512,0**

În continuare, folosind valorile d_i și d_i^2 din Tabelul 4.20, au fost calculate următoarele mărimi, folosind relațiile (2.4) – (2.10) din subcapitolul 2.7.2:

- deflexiunea medie (DBM) = $\Sigma\, d_i$ (i = 1…n)/n = 2800/41 = 68,29 (0,01 mm);
- abaterea medie pătratică (SBM) = $\sqrt{(d_i^{\,2} - n\ DBM^{\,2})/n}$ = 10,23 (0,01 mm);
- coeficientul de variaţie (CV) = 100 SBM / DBM = 14,99 %;
- factorul de transformare funcţie de temperatură f(t) = 1,2 - 0,01 T = 1,00;
- deflexiunea medie normală (DBM 20) = f(t) DBM = 68,29 (0,01 mm);
- abaterea medie pătratică normală (SBM 20) = CV x DBM 20 = 10,234 (0,01 mm);
- deflexiunea caracteristică Benkelman (DCB) = DBM 20 + t SB 20 = 90,81 (0,01 mm);

În cazul de faţă s-a ales o valoare a lui t de 2,20.

Deflexiunea caracteristică (DC) = 0,7 DCB = 0,7 x 90,81 = 63,565 (0,01 mm).

Valoarea obţinută pentru deflexiunea caracteristică - 63,565 (0,01 mm) se încadrează în secţiunea "sub 250 (0,01 mm)", conform CD 31 - 2002, art. 58.1 [98], conferind sectorului de drum analizat calificativul de „sector cu capacitate portantă suficientă", din punct de vedere al capacităţii portante minime.

2. Loc de desfăşurare: Calea Victoriei, banda 1 partea dreaptă, tronson km 0+250 : km 0+750.

Probe supuse încercării: beton asfaltic tip BA 16 strat uzură, realizat cu zgură de oțelărie.

Deflectometrul a fost montat în poziţia 2.

Au fost realizate măsurători în 41 de puncte. Citirile corespunzătoare și valorile calculate pe baza acestora, conform CD 31 - 2002, sunt prezentate în Tabelul 4.21.

În continuare, folosind valorile d_i și d_i^2 din Tabelul 4.21, au fost calculate următoarele mărimi, folosind relațiile (2.4) – (2.10) din subcapitolul 2.7.2:

- deflexiunea medie (DBM) = $\Sigma\, d_i$ (i = 1…n)/n = 2357,6 /41 = 57,50 (0,01 mm),
  în care n este numărul valorilor individuale luate în calcul;
- abaterea medie pătratică (SBM) = $\sqrt{(d_i^{\,2} - n\ DBM^{\,2})/n}$ = 10,50 (0,01 mm);
- coeficientul de variaţie (CV) = 100 SBM / DBM = 18,27 %;
- factorul de transformare funcţie de temperatură f(t) = 1,2 - 0,01 T = 1,00;
- deflexiunea medie normală (DBM 20) = f(t) DBM = 57,50 (0,01 mm);
- abaterea medie pătratică normală (SBM 20) = CV x DBM 20 = 10,50292 (0,01 mm);
- deflexiunea caracteristică Benkelman (DCB) = DBM 20 + t SB 20 = 80,61 (0,01 mm)
  În cazul de faţă s-a ales o valoare a lui t de 2,20.

Deflexiunea caracteristică (DC) = 0,7 DCB = 0,7 x 90,81 = 56,42546 (0,01 mm).

Valoarea obţinută pentru deflexiunea caracteristică - 56,42546 (0,01 mm) se încadrează în secţiunea "sub 250 (0,01 mm)", conform CD 31 - 2002, art. 58.1 [98], conferind sectorului de

drum analizat calificativul de „sector cu capacitate portantă suficientă”, din punct de vedere al capacităţii portante minime.

Tabelul 4.21. Citiri și valori calculate (tronson km 0+250 : km 0+750 Calea Victoriei)

Nr. crt	banda 1	Poziție	$c_{2.4}$	$c_{5.0}$	$d_{2.4}$	$d_{5.0}$	d	d_i	d_i^2
1	fir 1, stânga	0	11	12	23,2	25,3	27,5	42,0	1767,3
2		25	10	12	21,0	25,3	29,6	45,3	2055,8
3		50	13	15	27,5	31,8	36,1	55,2	3052,2
4		75	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
5		100	17	18	36,1	38,3	40,4	61,8	3825,4
6		125	16	17	34,0	36,1	38,3	58,5	3427,9
7		150	20	21	42,6	44,8	46,9	71,8	5148,8
8		175	18	19	38,3	40,4	42,6	65,2	4244,7
9		200	16	18	34,0	38,3	42,6	65,2	4244,7
10		225	10	11	21.0	23,2	25,3	38,7	1500,6
11		250	13	14	27,5	29,6	31,8	48,6	2366,1
12		275	15	16	31,8	34,0	36,1	55,2	3052,2
13		300	17	19	36,1	40,4	44,8	68,5	4685,9
14		325	20	21	42,6	44,8	46,9	71,8	5148,8
15		350	22	23	46,9	49,1	51,2	78,4	6140,1
16		375	15	16	31,8	34,0	36,1	55,2	3052,2
17		400	17	18	36,1	38,3	40,4	61,8	3825,4
18		425	12	14	25,3	29,6	34,0	51,9	2698,3
19		450	19	20	40,4	42,6	44,8	68,5	4685,9
20		475	16	17	34,0	36,1	38,3	58,5	3427,9
21	fir 2, dreapta	500	19	21	40,4	44,8	49,1	75,1	5633,5
22		12,5	16	17	34,0	36,1	38.3	58,5	3427,9
23		37,5	18	19	38,3	40,4	42,6	65,2	4244,7
24		62,5	11	13	23,2	27,5	31,8	48,6	2366,1
25		87,5	12	14	25,3	29,6	34,0	51,9	2698,3
26		112,5	15	18	31,8	38,3	44,8	68,5	4685,9
27		137,5	11	12	23,2	25,3	27,5	42,0	1767,3
28		162,5	10	11	21,0	23,2	25,3	38,7	1500,6
29		187,5	12	14	25,3	29,6	34,0	51,9	2698,3
30		212,5	14	15	29,6	31,8	34,0	51,9	2698,3
31		237,5	16	17	34,0	36,1	38,3	58,5	3427,9
32		262,5	16	17	34,0	36,1	38,3	58,5	3427,9
33		287,5	18	19	38,3	40,4	42,6	65,2	4244,7
34		312,5	21	22	44,8	46,9	49,1	75,1	5633,5
35		337,5	15	16	31,8	34,0	36,1	55,2	3052,2
36		362,5	14	15	29,6	31,8	34,0	51,9	2698,3
37		387,5	14	15	29,6	31,8	34,0	51,9	2698,3
38		412,5	17	18	36,1	38,3	40,4	61,8	3825,4
39		437,5	12	14	25,3	29,6	34,0	51,9	2698,3
40		462,5	10	11	21,0	23,2	25,3	38,7	1500,6
41		487,5	11	12	23,2	25,3	27,5	42,0	1767,3
SUMA							**1541,6**	**2357,6**	**140085,5**

4.3.2. Determinarea modulului de deformație cu placa Lucas

(conform metodologiei prezentate în subcapitolul 2.7.3)

Condițiile de încercări pentru Placa nr. 1:

- diametrul plăcii (d) = 500 mm;

- treapta de încărcare = 101,4 kPa.

Metoda de încercare: conform STAS 2914/4-89 [134]. Locul de desfaşurare a încercărilor DN 2B Galaţi - Giurgiuleşti km145+624. P 163 la 1 m stânga de axul drumului nou.

Pentru încercării au fost supuse urmatoarele structuri rutiere:

- 35 cm strat de fundaţie din zgură de oțelărie sort 0-63 mm;

- 20 cm strat piatră spartă sort 25-63 mm-85 %, sort 0-31 mm-10 %, sort 8-16 mm-5 %.

Deformația s este media aritmetică a deformațiilor s_1, s_2 și s_3.

Deformația relativă efectivă s' = s / d, în care d fiind diametrul plăcii.

Citirile realizate pentru Placa nr. 1 (trepte de încărcare, presiune și deformații) și valorile calculate pe baza acestora (sumă încărcări, s și s') sunt prezentate în Tabelul 4.22

Tabelul 4.22. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 1

Nr. treptei încer-care	**Timp de aplicare a încărcării**, min	**Trepte de încărcare**, KPa	**Sumă încărcări**, KPa	**Presiune manometru,** Kpa	**Citiri de deformaţii pe microcomparator** 0,01mm			**Deformaţii medii, s** 0,01mm	**Deformaţia relativă efectivă** s'
					s_1	s_2	s_3		
1	1	101,4	101,4	11000	52	67	66		
	5				53	68	67	62,67	0,0012533
2	1	101,4	202,79	22000	89	110	99		
	5				90	112	101	101,00	0,00202
3	1	101,4	304,2	33000	123	155	140		
	5				125	158	142	141,67	0,0028333
4	1	101,4	405,6	44000	159	193	176		
	5				161	195	178	178,00	0,00356
5	1	101,4	507,0	55000	195	228	212		
	5				197	231	214	214,00	0,00428
6	1	-202,8	304,2	33000	162	197	183		
	5				161	196	182	179,67	0,0035933
7	1	-202,8	101,4	11000	108	147	126		
	5				106	145	124	125,00	0,0025

Determinarea modulului de deformație liniară E_d. Cu datele din Tabelul 4.22 s-a construit diagrama presiune - deformaţii relative efective (Figura 4.15). Din diagramă rezultă că valoarea presiunii de calcul corespunzatoare deformației relative de calcul (s' = 0.001) este p = 78 kPa.

S-a calculat modulul de deformaţie liniară cu relaţia

E_d = p/s' = 78 kPa / 0,001 = 780 daN/cm^2.

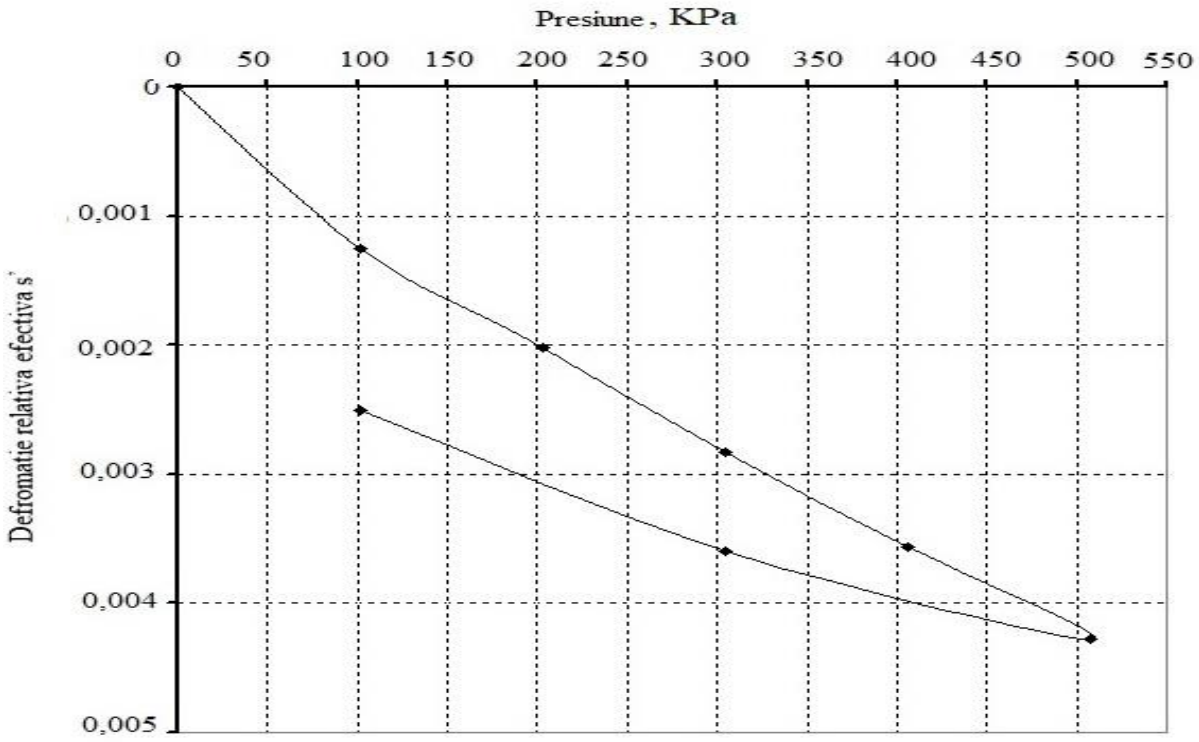


Fig. 4.15. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 1

Rezultatele încercărilor pentru Placa nr. 2

Locul de desfasurare a incercarilor: DN 2B Galaţi – Giurgiuleşti, km145+638; P 163 + 14 m la 3,25 m stânga de axul drumului nou.

Structura rutieră supusă încercării:

- 35 cm strat de fundaţie din zgură de oțelărie sort 0-63 mm;

- 20 cm strat piatră spartă sort 25-63 mm - 85 %, sort 0-31 mm - 10 %, sort 8 -16 mm - 5 %.

Citirile realizate pentru Placa nr. 2 (trepte de încărcare, presiune și deformații) și valorile calculate pe baza acestora (sumă încărcări, s și s') sunt prezentate în Tabelul 4.23.

Determinarea modulului de deformație liniară E_d.

Cu datele din Tabelul 4.23 s-a construit diagrama presiune - deformaţii relative efective (Figura 4.16). Din diagramă rezultă că valoarea presiunii de calcul corespunzatoare deformației relative de calcul (s' = 0.001) este p = 75 kPa.

S-a calculat modulul de deformaţie liniară cu relaţia

E_d = p / s' = 75 kPa / 0,001 = 750 daN/cm^2

Tabelul 4.23. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 2

Nr. trept-ei încăr care	Timp de aplicare a încărcării, min	Trepte de încărcare, Kpa	Sumă încărcări, Kpa	Presiune manometru, Kpa	Citiri de deformaţii pe microcomparator 0,01mm			Deformaţii medii s 0,01 mm	Deformaţia relativa efectivă s'
					s_1	s_2	s_3		
1	1	101,4	101,4	11000	65	66	67		
	5				66	67	68	67,00	0,00134
2	1	101,4	202,79	22000	113	123	132		
	5				115	125	134	124,67	0,0024933
3	1	101,4	304,2	33000	158	169	180		
	5				160	171	182	171,00	0,00342
4	1	101,4	405,6	44000	199	213	225		
	5				201	215	227	214,33	0,0042867
5	1	101,4	507,0	55000	244	260	275		
	5				246	262	277	261,67	0,0052333
6	1	-202,8	304,2	33000	198	220	224		
	5				197	219	223	213,00	0,00426
7	1	-202,8	101,4	11000	120	138	146		
	5				118	136	144	1132,67	0,0026533

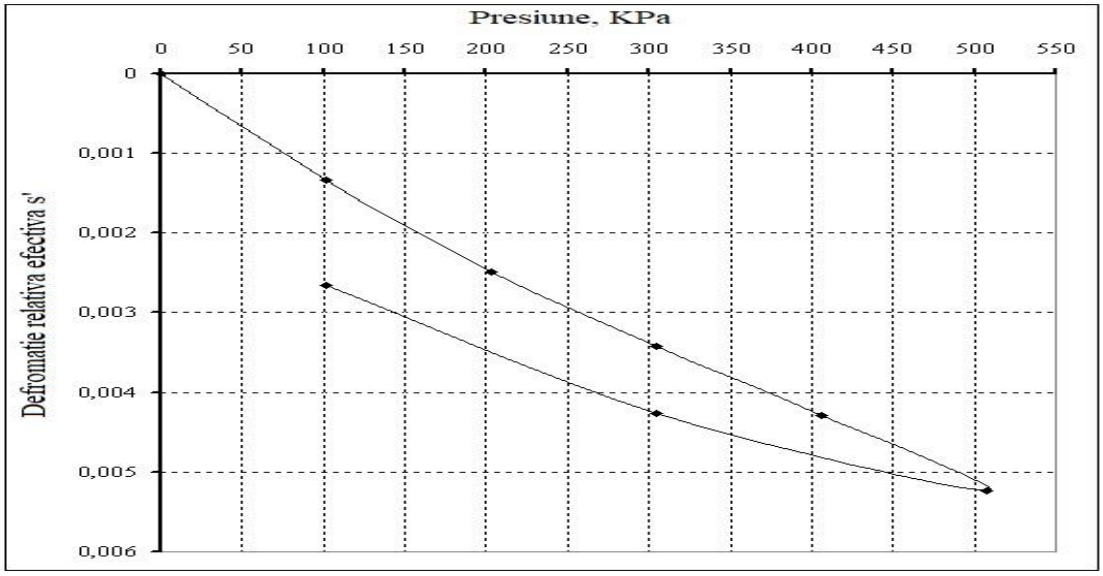


Fig. 4.16. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 2

Rezultatele încercărilor pentru Placa nr. 3.

Locul de desfaşurare a încercărilor: DN 2B Galați – Giurgiulești km145+652 ; P 164 la 1m stânga de axul drumului nou.

Pentru încercări au fost stabilite următoarele structuri rutiere:

- 35 cm strat de fundaţie din zgură de oțelărie sort 0-63 mm;

- 20 cm strat piatră spartă sort 25-63 mm - 85 %, sort 0-31 mm - 10 %, sort 8-16 mm - 5 %.

Citirile realizate pentru Placa nr. 3 (trepte de încărcare, presiune și deformații) și valorile calculate pe baza acestora (sumă încărcări, s și s') sunt prezentate în Tabelul 4.24.

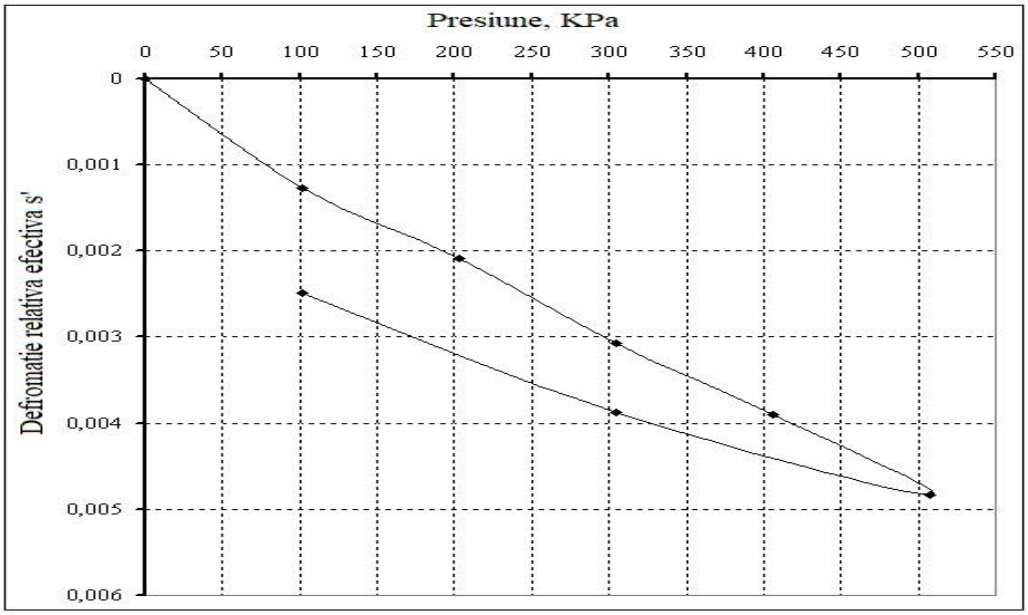
Tabelul 4.24. Citiri și valori calculate pentru Placa nr. 3

Nr. treptei încăr-care	**Timp de aplicare a încărcării,** min	**Trepte de încărcare,** Kpa	**Sumă încărcări,** Kpa	**Presiune manometru,** Kpa	**Citiri de deformaţii pe microcomparator** 0,01mm s_1	s_2	s_3	**Deformaţii medii s,** 0,01mm	**Deformaţia relativă efectivă** s'
1	1	101,4	101,4	11000	57	59	72		
	5				58	60	73	63,67	0,0012733
2	1	101,4	202,79	22000	93	97	116		
	5				95	99	118	104,00	0,00208
3	1	101,4	304,2	33000	144	150	161		
	5				146	152	163	153,67	0,0030733
4	1	101,4	405,6	44000	187	193	200		
	5				189	195	202	195,33	0,0039067
5	1	101,4	507,0	55000	231	240	248		
	5				233	242	250	241,67	0,0048333
6	1	-202,8	304,2	33000	188	195	202		
	5				187	194	201	194,00	0,00388
7	1	-202,8	101,4	11000	119	123	137		
	5				117	121	135	124,33	0,0024867

Determinarea modulului de deformație liniară E_d

Cu datele din Tabelul 4.24 s-a construit diagrama presiune - deformaţii relative efective (Figura 4.17). Din diagramă rezultă că valoarea presiunii de calcul corespunzatoare deformației relative de calcul (s' = 0.001) este p = 75 kPa.

S-a calculat modulul de deformaţie liniară cu relaţia:



$E_d = p / s' = 76$ kPa / 0,001 = 760 daN/cm^2.

Fig. 4.17. Diagrama presiune - deformaţii relative efective pentru Placa nr. 3

Interpretarea rezultatelor. Determinarea modulului de deformație cu placa Lucas a arătat că valorile obţinute pentru structurile rutiere ce conțin zguri de oțelărie (750, 760 şi 780 daN/cm^2) depăşesc cerinţele impuse pentru toate tipurile de balast şi sunt cel puţin egale cu valoarea specificată pentru balast - amestec optimal pentru fundaţie (750 daN/cm^2) [135].

În Anexele 5-8 sunt prezentate rezultatele încercărilor experimentale efectuate pe teren prin care sau stabilit caracteristicile mixturilor asfaltice, caracteristicile fizico-mrvcanice ale sorturilor de zguri, caracteristicile de compactare ale mixturilor asfaltice, compozițiile granulometrice pentru toate rețetele elaborate și propuse, rezultatele încercărilor pecarote, alte caracteristici.

4.4. Utilizarea zgurilor de oțelarie la realizarea îmbrăcămintilor asfaltice

Pentru a confirma posibilitatea înlocuirii agregatelor naturale din îmbrăcămintile asfaltice cu zguri de oțelărie, care nu afectează mediul ambiant [136] s-au realizat la început două compoziții de beton asfaltic bogat în criblură de tip BA 8 (seria II) utilizând bitum D 80/100 și de tip BA 16 (seria II) utilizând bitum D 100/120.

Agregatele utilizate au fost zgura concasată (sort 5-8 mm si 8-16 mm), nisip natural de râu și filer de calcar. Caracteristici bitumurilor utilizate sunt prezentate în Tabelul 4.25.

Tabelul 4.25. Caracteristicile bitumurilor utilizate

Nr. crt.	Caracteristica	Valori	
		D 80/100 (I)	D 100/120 (II)
1	Penetrația la +25ºC, 1/10 mm	84	118
2	Punct de înmuiere (I.B.), ºC	48,1	43,6
3	Indice de penetrație I. P.	- 0,38	- 0,72
4	Susceptibilitate termic –‘a’	0,042	0,045
5	Tipul de structură	sol-gel	sol-gel

Compozițiile granulometrice pentru toate rețetele analizate, compozițiile granulometrice ale amestecurilor de agregate, valorile caracteristicilor fizico - mecanice determinate pe epruvete cubice și cilindrice confecționate din mixturile preparate cu diferite procente de bitum și variația umflării în timp a epruvetelor (cubice si cilindrice) sunt prezentate în **Anexa 5**.

S-au realizat apoi două compoziții de beton asfaltic, bogat în criblură, de tip BA 8 (seria III) si BA 16 (seria IV), la care s-au utilizat ca agregate zgura concasată (sort 5-8 mm si 8-16 mm), nisip de concasare 0-4 mm, nisip natural 0-4 mm și filer de calcar. Aceste ultime două tipuri de mixturi au fost realizate cu două tipuri de bitum: D 60/80 pentru zona caldă a României [137] și D 80/100 pentru zona rece, caracteristici căror sunt prezentate în Tabelul 4.26.

Tabelul 4.26. Caracteristicile bitumurilor utilizate

Nr. crt.	Caracteristica	Valori	
		D 60/80	D 80/100
1	Penetrația la +25ºC, 1/10 mm	78	97
2	Punct de înmuiere (I.B.), ºC	50,4	45,0
3	Indice de penetrație I. P.	0,03	-0,88
4	Susceptibilitate termică –'a'	0,040	0,046
5	Tipul de structură	sol-gel	sol-gel

Din analiza rezultatelor obținute se constată următoarele:

- utilizând sorturile 0-5 mm, 5-8 mm și 8-16 mm de zgură concasată s-a obținut un procent optim de bitum de 7%, pentru BA 8;

- eliminând sortul de zgură 0-5 mm și înlocuindu-l cu nisip de concasare 0-4 mm, procentul de bitum a scăzut (folosind același tip de bitum D 80/100) la 5,75 %, ceea ce denotă porozitatea ridicată și suprafața specifică mare a acestui sort. În plus, conținutul ridicat de CaO (9,0 %) face ca sortul să fie cauza apariției unor umflături în stratul de uzură al îmbrăcămintii bituminoase, ulterior execuției sratului asfaltic;

- atât valorile densiăttii aparente cât și valorile stabiliății Marshall depășesc valorile minime din SR 174-1/2002, ceea ce asigură o bună rezistență la acțiunea combinată a traficului și a factorilor climaterici.

4.5. Concluzii

Analiza rezultatelor cercetărilor efectuate au condus la următoarele concluzii:

4.6.1. Stabilitatea Marshall și densitatea aparentă pentru zgurile de oțelărie depășesc valorile minime prevăzute în SR 174-1 (500 daN, respectiv 2250 kg/m^3) [13]. De asemenea, valoarea indicelui de curgere se încadrează în intervalul stabilit de SR 174-1: 150…450 (0,01 mm).

4.6.2. Valorile care au fost obţinute pentru deflexiunile caracteristice - 63,565 (0,01 mm) și 56,42546 (0,01 mm) se încadrează în secţiunea "sub 250 (0,01 mm)", conform CD 31 – 2002, art. 58.1 [98], conferind sectoarelor de drum analizate calificativul de „sector cu capacitate portantă suficientă", din punct de vedere al capacităţii portante minime. Se constată că valorile obţinute sunt chiar mult mai mici decat cea specificată, ceea ce demonstrează valoarea utilizării agregatelor din zguri de oțelărie în straturile rutiere respective.

4.6.3. Toate valorile modulului de deformație obţinute pentru structurile rutiere ce conțin zguri de oţelărie se încadrează în prevederile normativelor. Rezultatele menționate anterior confirmă în totalitate posibilitatea utilizării agregatelor din zguri de oţelărie în straturile rutiere.

CONCLUZII GENERALE

Prezenta lucrare facilitează aplicarea practică a rezultatelor experimentale obţinute, prin prezentarea rezultatelor încercărilor realizate în laborator, în staţii pilot și pe tronsoane de drumuri date deja în circulaţie, care confirmă viabilitatea utilizării cenușilor de termocentrală și zgiurilor de oțelărie în structurile rutiere.

Implementarea rezultatelor cercetărilor ştiinţifice poate fi realizată prin executarea de lucrări de drumuri la care straturile rutiere să fie alcătuite din materiale de tipul cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie.

În teza de doctorat au fost soluționate câteva probleme științifice importante cu care se confruntă, în prezent, construcția drumurilor auto, necesitatea reducerii volumelor acumulate și crescânde a reziduurilor din domeniile producerii energiei electrice și termice, siderurgiei și al mediului, care sunt:

- costurile foarte mari necesare atât pentru obținerea agregatelor naturale folosite în structurile rutiere, cât și pentru stabilizarea haldelor de depozitare a cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie, care prezintă pericol de alunecare și răspândire a substanțelor toxice în mediul ambiant prin intermediul apelor pluviale, al vântului etc.

- ocuparea unor mari suprafețe de teren de către haldele de cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie, cu implicații foarte nefavorabile asupra mediului înconjurător și al sănătății populației;

- volumul tot mai mare de agregate naturale folosit în construcția de drumuri în prezent are repercursiuni grave asupra mediului (extracţia agregatelor naturale perturbă apa freatică, accentuează eroziunea solului, poate provoca alunecări de teren etc.).

Toate aceste probleme pot fi rezolvate simultan prin utilizarea adecvată a reziduurilor industriale de tipul cenușilor de termocentrală și al zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, conform metodologiilor prezentate în teză.

Rezultatele cercetărilor efectuate în lucrarea de față, concretizate în rezolvarea problemelor menționate, au permis de a constata următoarele:

- utilizarea agregatelor din cenuşi de termocentrală și zgură de oţelărie în construcțiile rutiere este perfect viabilă și are ca rezultat protejarea mediului înconjurător, prin diminuarea spaţiilor de depozitare a acestora şi implicit limitarea răspândirii substanţelor nocive în natură, cât şi prin conservarea ambientului natural (extracţia agregatelor naturale poate perturba apa freatică, poate accentua eroziunea solului etc.);

- construcțiile la care s-au utilizat cenuși de termocentrală și zguri de oțelărie s-au dovedit mult mai durabile pe termen lung decât cele realizate cu materiale pe bază de agregate naturale;

- prin înlocuirea agregatelor naturale din straturile sistemului rutier cu cenuși de termocentrală și zgură de oţelărie se realizează o scădere semnificativă a costului lucrărilor (cenușile și zgurile sunt practic gratuite, în timp ce agregatele naturale prezintă costuri mari de extracție, prelucrare, recultivare a solului etc).

În baza rezultatelor studiilor, cercetătilor, încercărilor de laborator și în condiții de teren au fost formulate următoarele **CONCLUZII**:

Privind CENUŞILE DE TERMOCENTRALĂ

1. Cenușile de termocentrală pot fi utilizate în alcătuirea structurilor rutiere, necesitând doar o procesare mecanică prealabilă.

2. Varul și cimentul, adăugate în cantități mici în materialele la care se folosesc cenuși de termocentrală, contribuie la creșterea rezistenței acestora. Cenușile pot fi utilizate la construcția rambleelor, la stabilizarea și ameliorarea granulozității materialelor locale folosite pentru realizarea fundațiilor rutiere, la filerizarea bitumurilor pentru îmbrăcămințile asfaltice și la execuția substraturilor drenante, anticapilare și anticontaminante ale sistemelor rutiere.

3. Încercările Marshall (prezentate în Capitolul 3, subcapitolul 3.1), realizate pe o reţetă de bază cu un procent de bitum din agregat de 4,5 %, în care s-a înlocuit filerul (până la 100%) şi parţial nisipul natural cu cenuşă de termocentrală, au arătat că valorile determinate pentru stabilitate, indicele de curgere, densitatea aparentă și absorbţia de apă se încadrează în prevederile STAS-ului 7090/2001 și deci cenușile de termocentrală pot înlocui în mod eficient agregatele fine în mixturile asfaltice.

4. În timpul depozitării în aer liber, o mare parte dintre proprietăţile cenușilor de furnal sunt pierdute din cauza umectării excesive. Cenușile de furnal de haldă nu pot fi folosite în toate lucrările în care se utilizează cenușile de furnal uscate, iar proprietăţile unei aplicaţii la care s-au utilizat cenuși de furnal de haldă vor fi inferioare faţă de situaţia când s-ar fi folosit cenuși de furnal uscate. Facilităţile adecvate de stocare uscată a cenușilor de furnal sunt o condiţie esenţială pentru dezvoltarea unui sistem controlat de utilizare a lor în diferite aplicaţii. Acest lucru este important şi pentru că cea mai mare cantitate de cenușă de furnal este produsă în perioade reci ale anului, când nu există decât foarte puţine lucrări de construcţii rutiere unde aceste cenuşi să fie utilizate eficient.

5. Studiile au demonstrat, de asemenea, că utilizarea cenușilor fine în structurile rutiere nu conduce la contaminarea cu metale grele a solului și a apelor subterane. Datorită avantajelor menționate anterior, cenușile fine pot fi utilizate pe larg în toate tipurile de construcții rutiere.

Privind ZGURILE DE OȚELĂRIE

1. Valorile caracteristicilor fizico-mecanice ale zgurii de oțelărie, determinate experimental, s-au încadrat în limitele impuse de reglementările în vigoare și au confirmat posibilitatea utilizării cu succes a lor ca înlocuitor al agregatelor naturale pentru stratul de fundaţie şi stratul de bază al structurilor rutiere.

2. Agregatele din zgură de oțelărie, folosite la realizarea de mixturi asfaltice, corespund prevederilor standardului SR 174-2009.

3. Curbele granulometrice ale agregatelor din zgură de oțelărie se încadrează în zona granulometrică prevăzută de standardele în vigoare.

4. Din analiza rezultatelor încercările Marshall, realizate pe diferite compoziții (mixtură asfaltică tip BAD 25 cu zgură 16-25 mm, cu zgură 8-16 mm și cu zgură 8-16 mm și 16-25 mm) obţinute, s-a constatat faptul că stabilitatea Marshall și densitatea aparentă depășesc valorile minime prevăzute în SR 174-1 (500 daN, respectiv 2250 kg/m^3). De asemenea, valoarea indicelui de curgere se încadrează în intervalul stabilit de SR 174-1: 150 …450, 0,01 mm.

5. Rezultatele încercărilor de laborator la CIPC INCERC TEST SRL (granulozitatea, forma agregatului grosier, coeficientul de absorbție a apei, conținutul de particule fine, masa volumetrică reală și în vrac, rezistența la uzură - Micro-Deval și rezistența la fragmentare - Los Angeles) pe eșantioane, prelevate din depozitul uzinei metalurgice din orașul Râbnița, Republica Moldova, au arătat faptul că toate valorile obținute se încadrează în prevederile normativelor din Republica Moldova. Toate aceste rezultate de laborator demonstrează faptul că zgura de oțelărie poate constitui un înlocuitor adecvat al criblurii în mixturile asfaltice.

Utilizarea agregatelor din zgură de oţelărie în construcțiile rutiere conduce la numeroase avantaje tehnice şi economice, prin:

- menţinerea capacităţii portante în limita parametrilor de exploatare a sistemului rutier conferită de solidificarea carbonică a agregatelor şi de uşurinţa în realizarea compactării optime;
- proprietăţile agregatelor din zguri de oţelărie, ce permit realizarea de drumuri care nu influenţează mediul ambiant sub acţiunea factorilor climaterici (ploi, îngheţ - dezgheţ, etc.);
- diminuarea riscului de apariţie a deformaţiilor permanente în structurile rutiere datorate stabilităţii la solicitări mecanice şi termice în exploatare;
- asigurarea duratei de exploatare a drumurilor în condiţii de siguranţă şi confort, datorată texturii ce conferă rugozitate şi rezistenţă mare la derapaj.

RECOMANDĂRI

1. Înlocuirea în baza rezultatelor cercetărilor științifice îndeplinite a agregatelor naturale din structurile rutiere cu agregate artificiale de tipul cenușilor de termocentrală și zguri de oțelărie la realizarea tronsoanelor de drumuri.

2. Extinderea ulterioară prin cercetări a utilizării cenușii de furnal obţinute din turbă, lemn sau amestecuri de combustibile și utilizarea lor în stabilizarea solurilor necoezive sau a solurilor moi de tipul argilei.

3. Actualizarea normativelor care reglementează utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere, pentru a răspunde situației actuale, întrucât cele existente sunt parțial depășite din punct de vedere al tehnologiilor și al terminologiei folosite.

4. Armonizarea legislației specifice la nivel național, în acord cu prevederile Directivei europene DC2008/98/CE, care reglementeaza regimul deșeurilor, conform căreia producatorii acestora au obligatia reciclării și valorificării lor, prin utilizarea celor mai bune tehnici disponibile în materie, cu efecte minime asupra factorilor de mediu (apei, aerului, faunei, florei etc.), fără a afecta peisajul și sănătatea ființelor umane.

BIBLIOGRAFIE

1. DWIVEDI, A., JAIN, M. K. (2014). Coal fly ash–waste management and overview: A Review. In: *Recent Research in Science and Technology*, 6(1), pp. 30-35. http://recent-science.com/.
2. JIANG, Y., LING, T.C., SHI, C., PAN, S.Y. Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete - A review. In: *Resources, Conservation and Recycling.* 2018, pp. 136. doi: 10.1016/j.resconrec. 2018.04.023.
3. ZAHARI, N., MOHAMAD, D., ARENANDAN, V. (2018). Study on prediction coal fly ash generation using statistical method. *AIP Conference Proceedings*, 2031(1), 020038. https://doi.org/10.1063/1.5066994.
4. LÜTKE, S. F., MARCOS, L. S. O., LUIS, F. O. S., TITO, R. S. C. (2020). Nanominerals assemblages and hazardous elements assessment in phosphogypsum from an abandoned phosphate fertilizer industry. In: *Chemosphere*, 256(127138), pp. 50-54. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127138.
5. HEMALATHA, T., RAMASWAMY, A. (2017). A review on coal fly ash characteristics towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. In: *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 546-559. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.114.
6. PASETTO, M., BALDO, N. Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags. In: *J. Hazard. Mater.* 2010, 181, p. 940.
7. Singh, R., Singh, L., Singh, S. V. (2015). Beneficiation of iron and aluminium oxides from coal fly ash at lab scale. In: *International Journal of Mineral Processing*, 145, pp. 32-37. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.001.
8. RAHACEK, S., HUNKA, P., CITEK, D., KOLISKO, J. (2020). Experimental determination of ammonia in CFA for ready mix concrete. In: *AIP Conference Proceedings*, 2210(1), pp. 20 - 26. https://doi.org/10.1063/5.0000478.
9. KAVALEVOVA, E.S., PETROPAVLOVSKY, O.M., KRIVENKO, P.V. (2000) The Use of Steel Melting Slags in Earth Construction. In: *A Paper for the International Conference on Practical Applications in Environmental Geotechnology*, Ecogeo, 4-6 September 2000, Helsinki.
10. KORNIEJENKO, K., HALYAG, N., MUCSI, G. (2019). Coal fly ash as a raw material for geopolymerisation-chemical composition and physical properties. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 706(1), 012002.

https://doi.org/10.1088/1757-899X/706/1/012002.

11. SHARMA, V., AKHAI, S. (2019). Trends in utilization of coal fly ash in India: A review. In: *Journal of Engineering Design and Analysis*, 2(1), pp. 12-16. https://adrjournalshouse.com/index.php/engineering-design-analysis/article/view/499.
12. WARDHONO, A. (2018). Comparison study of class F and class C coal fly ashes as cement replacement material on strength development of non-cement mortar. *IOP Conference Series.* In: *Materials Science and Engineering*, 288(1), 012019, pp. 12-15. https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012019.
13. Directiva 75/442 din 15 iulie 1975 a Consiliului Comunităţilor Europene. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 194, 25.7.1975, pp. 47-49 și 39-41.
14. Directiva 2006/12/CE din 5 aprilie 2006 privind deșeurile, a Parlamentului European și a Consiliului. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 114, 27.4.2006, pp. 9.
15. Directiva 2008/98/CE privind deșeurile și abrogarea anumitor directive. 19 noi. 2008 pp. 16. Rezoluţia din 24 februarie 1997 referitoare la o strategie comunitară privind gestionarea. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, C 76, 11.03.1997, pp. 1.
17. Decizia nr. 1600/2002/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 22 iulie 2002 de stabilire a celui de-al şaselea program comunitar de acţiune pentru mediu. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 242, 10.09.2002, pp. 1.
18. Comunicare a Comisiei din 27 mai 2003: Strategie tematică pentru prevenirea şi reciclarea deşeurilor.
19. Rezoluţia Parlamentului European din 20 aprilie 2004. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, C 104E, 30.04.2004, pp. 1.
20. Directiva 96/61/CE a Consiliului din 24 septembrie 1996 privind prevenirea şi controlul integrat al poluării. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 257, 10.10.1996, pp. 26.
21. Directiva Consiliului Comunităţilor Europene privind deşeurile (75/442/CEE) din 15 iulie 1975.
22. Directiva 2006/12/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 5 aprilie 2006.
23. Legea nr. 211/2011 privind regimul deşeurilor din 15 noiembrie 2011. Publicată în Monitorul Oficial nr. 837 din 25 noiembrie 2011.
24. Legea nr. 209 din 29.07.2016 privind deşeurile. Publicată în 23.12.2016 în Monitorul Oficial nr. 459-471 art. 916.
25. Directiva nr. 851/2018 de modificare a Directivei 2008/98/CE privind deşeurile din 30.05.2018.
26. Ordonanţa de urgenţă nr. 92/2021 privind regimul deşeurilor din 19 august 2021

27. Gestiunea integrată a deșeurilor - Ghid practic pentru decidenții din administrația locală. ISBN: 978-973-1963-47-1.
28. Decizia nr. 955/2014 de modificare a Deciziei 2000/532/CE de stabilire a unei liste de deşeuri în temeiul Directivei 2008/98/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 18.10.2014.
29. Directiva nr. 851/2018 de modificare a Directivei 2008/98/CE privind deşeurile din 30 mai 2018. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene nr. 150 din 14 iunie 2018.
30. Eurostat. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics/ro.
31. Regulamentul (CE) nr. 2150/2002 al Parlamentului European și al Consiliului din 25 noiembrie 2002 referitor la statisticile privind deșeurile
32. Rezoluția Consiliului pentru Drepturile Omului al Organizației Națiunilor Unite nr. 48/13 din 8 octombrie 2021, intitulată „Dreptul omului la un mediu curat, sănătos și sustenabil" (HRC/RES/48/13).
33. Planul Național de Gestionare a Deșeurilor (PNGD), aprobat prin HG nr. 942/20.12.2017. În: Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 11 bis.
34. CIUCLEA, I. I. Economia circulară în România: oportunități, angajamente tehnice, tehnologice și administrative. Ed. Elicart 2019. ISBN: 978-606-768-207-6.
35. ANDREI, B, POPESCU, N ZELICI, L. Deficiențe apărute în exploatarea drumurilor cu straturi din agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală. În: Revista construcțiilor din 29 iulie 2024.
36. ANDREI B., POPESCU N., ZELICI L. „ROMCEN - o inițiativă pentru dezvoltare durabilă". În: Revista Drumuri. Poduri. Ed. Media Drumuri Poduri Romania, 2012.
37. CD 129/2013 - Normativ pentru execuția terasamentelor rutiere din cenușă de termocentrală.
38. PANDA, S. S., JENA, B. (2021). Yield behaviour of two-way reinforced concrete fly ash brick slab. In: *Recent Developments in Sustainable Infrastructure*. pp. 405-414.
39. PANDEY, A., TIWARI, D., YADAV, D. K., MISHRA, R. K., DESHPANDE, V. P., SHINDE, A. (2018). Stabilization of soil under foundation and pavements using coal fly ash. In: *AMBIENT SCIENCE*, 5 pp. 28-11. https://doi.org/10.21276/ambi.2018.05.sp2.ta01.
40. ADAMU, M., MOHAMMED, B. S., LIEW, M. S. (2018). Mechanical properties and performance of high volume coal fly ash roller compacted concrete containing crumb rubber and nano silica. In: *Construction and Building Materials*, 171, pp. 21-26. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.138.
41. FODOREAN, F. Propunere pentru o clasificare a drumurilor din Dacia Romană. În : Studia Universitatis Petru Maior - Series Historia. 2004. pp. 5.

42. XIE, J., WU, S., ZHANG, L., XIAO, Y., DING, W. Evaluation the deleterious potential and heating characteristics of basic oxygen furnace slag based on laboratory and in-place investigation during large-scale reutilization. In: *Journal of Cleaner Production.* 2016, pp. 33. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.106.
43. DSU Galaţi. Dosar Tehnic nr. 004-07/431: LIDONIT - Agregate din zgură de oţelărie. 2001.
44. BESSA, I.S., SOARES J.B. Evaluation of polishing and degradation resistance of natural aggregates and steel slag using the aggregate image measurement system. In: *Road Mater. Pavement Des.* 2014, 15. pp. 385 - 405.
45. ГРИНЕВИЧ Н. А. Металлургические шлаки в дорожном строительстве//Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов. ОАО Гипродорнии. 2014. № 5 (64), с. 124-129. ISSN 2305-381X**.**
46. SR EN 13043:2003 - Agregate pentru amestecuri bituminoase şi pentru finisarea suprafeţelor utilizate la construcţia şoselelor, a aeroporturilor şi a altor zone cu trafic.
47. Новое производство. Начало положено В: Газета Новости, 13.07.2019. http://rnovosti.info/.
48. SC Geasol SA. Studiu de fezabilitate pentru pregătirea şi exploatarea zgurii din halda Buituri. 2002, pp. 53-56.
49. Eco Presa, 27 iunie 2020 - https://ecopresa.md/depozitul-de-deseuri-al-centralei-de-la-cuciurgan-principalul-poluator-al-regiunii-odesa/.
50. SAHA, A. K. (2018). Effect of class F coal fly ash on the durability properties of concrete. In: Sustainable Environment Research 28(1), p. 25. https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001.
51. PANDA, S., PANIGRAHI, R., NARSHIMAM, M. (2019). A review on utilization of alkali activated fly ash and ggbfs as green concrete. In: *Adalya Journal*, 8(7), pp. 91–96. https://adalyajournal.com/gallery/12-july-1624.pdf.
52. LAKSHMI, A. D., VARA, T. V. (2020). Durability properties of geopolymer concrete with CFA and metakaoline. In: *International Journal of Science and Technology Research*, 9(9), pp. 9. https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Durability-Properties-Of-Geopolymer-Concrete-With-Flyash-And-Metakaolin.pdf.
53. VOINA, N.I. Teoria şi practica utilizării cenuşilor de la centralele termoelectrice. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1981, pp. 89-92.
54. Erkens A., PRIYADARSHINI, S., MOHANAKRISHNAN, A. A., ABRI, A., SATTLER, M., TECHAPAPHAWIT, S. (2019). Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review. In: *Case Studies in Construction Materials*, p. 11, e00263.

https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263.

55. KRISHNARAJ, L., RAVICHANDRAN, P. (2021). Characterisation of ultra-fine coal fly ash as sustainable cementitious material for masonry construction. In: *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp. 259–269. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.008.
56. ABDULLAH, H.H., SHAHIN, M.A., WALSKE, M.L. Geo-mechanical behavior of clay soils stabilized at ambient temperature with fly-ash geopolymer-incorporated granulated slag. In: Soils and Foundations, 59(6), 1906-1920, 2019. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.08.005.
57. KONG, D., XIAO, Y. Comparative evaluation of designing asphalt treated base mixture with composite aggregate types. In; *Construction and Building Materials* 2017, 156, p. 85.
58. ASTM C593 - 89. Standard Specification for Fly Ash and other Puzzolans for Use with Lime. American Society for Testing and Materials Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.01, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994.
59. ARULRAJAH, A., MOHAMMADINIA, A., HORPIBULSUK, S., SAMINGTHONG, W. (2016). Influence of class F coal fly ash and curing temperature on strength development of coal fly ash-recycled concrete aggregate blends. In: *Construction and Building Materials*, 127, pp. 743-750. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.049.
60. ASTM C311 - 92a. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Puzzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.02, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994.
61. ZABIHI-SAMANI, M., MOKHTARI, S. P., RAJI, F. (2018). Effects of coal fly ash on mechanical properties of concrete. In; *Journal of Applied Engineering Sciences*, 8(2), pp. 35-40. https://doi.org/10.2478/jaes-2018-0016.
62. ASTM C618. (2019). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete* (ASTM International, Pennsylvania, United States).
63. BHAJANTRI, V., KRISHNA, P., JAMBAGI, S. (2018). A brief review on coal fly ash and its use in surface engineering. In: *AIP Conference Proceedings*, 1943(1), 020028. https://doi.org/10.1063/1.5029604.
64. STAS 9180-73 Teren de fundare. Determinarea capacităţii de reţinere a apei de către pământuri la diferite secţiuni.
65. CHEN, W., SHAIKH, F., LI, Z., RAN, W., HAO, H. (2021). Dynamic compressive properties of high volume coal fly ash (HVCFA) concrete with nano silica. In: *Construction and Building Materials*, 301, 124352. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat. 2021.124352.

66. RUSU, I., **CHIRICUȚĂ, I**. Improving the Properties of Fly Ash by Mixing with Different Substances. In: „Meridian ingineresc”. nr. 4/2014. pp. 51 - 53. ISSN 1683-853X
67. SINGH, R., SINGH, L., SINGH, S. V. (2015). Beneficiation of iron and aluminium oxides from coal fly ash at lab scale. In: *International Journal of Mineral Processing*, 145, pp. 32. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.001.
68. **CHIRICUȚĂ, I**. Considerations on Using Slag Steel Works in Road Construction. În: Meridian ingineresc, nr. 2/2014. pp. 52 – 54. ISSN 1683-853X.
69. FENG, J., LIU, S., WANG, Z. (2015). Effect of ultrafine CFA on the properties of high strength concrete. In: *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121(3), pp. 1213-1223. https://doi.org/10.1007/s10973-015-4567-3.
70. COPPOLA, L., COFFETTI, D., CROTTI, E. (2018). Plain and ultrafine coal fly ashes mortars for environmentally friendly construction materials. In: *Sustainability*, 10(3), p. 74. https://doi.org/10.3390/su10030874.
71. HE, X. Y., HUANG, J. X., SU, Y., YANG, J., ZHENG, Z. Q., ZHANG, C., WANG, X. J., STRNADEL, B. (2019). Mechanical and Transport Properties of High volume Ultrafine CFA cement composites. In: *Key Engineering Materials*, 810 pp. 143-148. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.810.143
72. HAIDER, U., BITTNAR, Z., KOPECKY, L., ŠMILAUER, V., POKORNY, J., ZALESKA, M., PROŠEK, Z., HRBEK, V. (2016). Determining the role of individual coal fly ash particles in influencing the variation in the overall physical morphological and chemical properties of coal fly ash. In: *Acta Polytechnica*, 56(4), pp. 256-282. https://doi.org/10.14311/AP.2016.56.0265.
73. RAFIZA, A.R, BAKRI, A. M., KAMARUDIN, H., NIZAR, I.K., HARDJITO, D., ZARINA, Y. (2014). Evaluation of pelletized artificial geopolymer aggregate manufactured from volcano ash Australian. In: Journal of Basic and Applied Sciences 7/5 pp. 15-20. http://repository.petra.ac.id/id/eprint/16189.
74. OLAREWAJU, A. J. (2016). Engineering properties of concrete mixed with varying degrees of coal fly ash. In: *American Journal of Engineering Research*, 5. https://www.ajer.org/papers/v5(09)/V050901460149.pdf.
75. MEI, L., LU, X., WANG, Q., PAN, Z., JI, X., HONG, Y., FANG, C., GUO, H., YANG, X. The experimental study of coal fly ash decarbonization on a circulating fluidized bed combustor. In: *Applied Thermal Engineering*, 63(2), pp. 608-615. (2014). https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.11.067.
76. HERATH, C., GUNASEKARA, C., LAW, D. W., SETUNGE, S. (2021). Long term

mechanical performance of nano-engineered high volume coal fly ash concrete. In: *Journal of Building Engineering*, 43, 103168. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.

77. **CHIRICUȚĂ, I**. Îmbunătățirea proprietăților cenușilor de termocentrală folosite în structurile rutiere prin amestec cu diferite substanțe - Al XIV-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 sept 2014.
78. LAVANYA, B., KURIYA, P. D., SUGANESH, S., INDRAJITH, R., CHOKKALINGAM, R. B. (2020). Properties of geopolymer bricks made with fly ash and GGBS. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1), 012141. https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012141.
79. DINESH, A., ANANDHASUTHAN, S. E., ARAVIND, S., ARJUN, B. B. Experimental Investigation of high strength concrete using CFA and copper slag. Presented at the National Conference on Innovative Practices, Recyclable Materials and Energy Efficient Methods in Civil Engineering IPRME, 2018.
80. PARIKSHITH, M., SEKHAR, D. C. (2019). Feasibility of fly ash based geopolymer for soil stabilization. In: *Int J Innov Technol Explor Eng*, 9(1), pp. 4348-4351.
81. OLIVEIRA, M. L., MAROSTEGA, F., TAFFAREL, S. R., SAIKIA, B. K., WAANDERS, F. B., DABOIT, K., BARUAH, B. P., SILVA, L. F. O. (2014). Nano-mineralogical investigation of coal and coal fly ashes from coal-based captive power plant (India): An introduction of occupational health hazards. In: *Science of the Total Environment*, 468, pp. 1128-1137. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.040.
82. TAJUNNISA, Y., SUGIMOTO, M., SATO, T., EKAPUTRI, J. J., SHIGEISHI, M. (2016). Characterization of low calcium coal fly ash for geopolymer paste. 16th International Conference and Exhibition on Structural Faults and Repair 17 - 19 May, 2016 16 (Engineering Technics Press, Edinburgh) Radison Blu, Edinburgh, United Kingdom.
83. NOWAK-MICHTA, A., KABAT, B. Physical properties of post-process coal fly ash from TWTP Krakow. In: MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 163: EDP Sciences, pp. 03004.
84. NIKHIL, T. R. (2019). Use of high volume CFA in concrete pavement for sustainable development. In: *International Journal of Scientific Research*, 3(1), pp. 131-133.
85. REVATHI, J., RAJAMANE, S., (2015). Studies on Physio Chemical Properties of CFA for their Effective Alkali Activation. In: *SOJ Material Science Engineering*, 3(3), pp. 1-6. https://doi.org/10.15226/sojmse. 2015. 00129.
86. **CHIRICUȚĂ, I**. Replacement of Natural Aggregates Used in Road Structures with Steel Slag. In: Journal of Engineering Science. vol. XXVIII (2). 2021. pp. 120 – 124.

ISSN 2587-3474.

87. **CHIRICUȚĂ, I**. Utilizarea zgurilor de oțelărie în structuri rutiere - studiu comparativ. Al XVI-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Timișoara, 21-24 sept 2022.

88. SKAF, M., MANSO, J.M. EAF slag in asphalt mixes: A brief review of its possible reuse. In: *Resources, Conservation and Recycling.* 2017, pp. 176-185. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.12.009.

89. KONG, D., CHEN, M., XIE, J., ZHAO, M., YANG, C. Geometric Characteristics of BOF Slag Coarse Aggregate and its Influence on Asphalt Concrete. In: Materials 2019**,** 12 pp. 741. https://doi.org/10.3390/ma12050741.

90. KUMAR, H., VARMA, S. A review on utilization of steel slag in hot mix asphalt. In: *International Journal of Pavement Research and Technology* 14, 2021, pp. 232-242.

91. CHAO, L.I., CHEN, Z., XIE, J., SHAOPENG, W.U., XIAO, Y. A. Technological and Applicational Review on Steel Slag Asphalt Mixture. In: *Materials Review* 2017, pp. 58.

92. **CHIRICUŢĂ, I**. Utilizarea zgurilor de oţelărie în structuri rutiere - studiu comparativ. În: „Meridian ingineresc”. nr. 1/2016. p. 15. ISSN 1683-853X.

93 XIAO, Y., ERKENS, S., LI, M., MA, T., LIU, X. Sustainable Designed Pavement Materials. In: Materials 2020**,** 13**,** pp. 1575. https://doi.org/10.3390/ma13071575

94. AMERI, M., BEHNOOD, A. Laboratory studies to investigate the properties of CIR mixes containing steel slag as a substitute for virgin aggregates. In: *Constr. Build. Mater.* 2012, 26, pp. 478.

95. SALAM, Y.A., KUMAR, N. Investigation of waste material for construction of rural road to protect environment and improvement of rural road construction strength. In: Materials Today: Proceedings, 32, Part 3, pp. 487-491, 2020. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.654.

96. KAMBOLE, C., PAIGE-GREEN, P., KUPOLATI, W.K., NDAMBUKI, J.M., ADEBOJE, A.O. Basic oxygen furnace slag for road pavements: A review of material characteristics and performance for effective utilisation in southern Africa. In: *Construction Building Materials.* 2017, pp. 618- 631. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.036.

97. SR EN 12697-34:2020 Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 34: Încercare Marshall.

98. CD 31 - 2002 Normativ pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu structuri rutiere suple și semirigide cu deflectograful Lacroix și deflectometrul cu pârghie tip Benkelman - Anexă la ordinul MTCT nr. 619 din 23 octombrie 2003.

99. STAS 8942/3 - 90 Teren de fundare. Determinarea modului de deformaţie liniară prin încercări pe teren cu placa.

100. PD 177 – 2001 Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide (Metoda analitică).

101. WANGA, D., TAWKA, M., INDRARATNAB, B., HEITORA, A., RUJIKIATKAMJORNA, C. A mixture of coal wash and fly ash as a pavement substructure material. In: Transp. Geotech. 21,100265. 2019.https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100265.

102. SR 7970:2001 Lucrări de drumuri. Straturi de bază din mixturi asfaltice cilindrate executate la cald. Condiţii tehnice de calitate şi prescripţii generale de execuţie.

103. BAKARE, M.D., PAI, R.R., PATEL, S., SHAHU, J.T.,. Environmental sustainability by bulk utilization of fly ash and GBFS as road subbase materials. In: J. Hazard. Toxic. Radioact. Waste 23 (4), 04019011, 2019.

104. OGUNDIRAN, M. B., KUMAR, S. (2016). Synthesis of coal fly ash-calcined clay geopolymers: Reactivity, mechanical strength, structural and microstructural characteristics. In: *Construction and Building Materials*, 125, pp. 450-457. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.076.

105. FINKELMAN, R. B., WOLFE, A., HENDRYX, M. S. (2021). The future environmental and health impacts of coal. In: *Energy Geoscience*, 2(2), pp. 99-112. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.11.001.

106. MARTINELLO, K., OLIVEIRA, M. L. S., MOLOSSI, F. A., RAMOS, C. G., TEIXEIRA, E. C., KAUTZMANN, R. M., SILVA, L. F. O. (2014). Direct identification of hazardous elements in ultra-fine and nanominerals from coal fly ash produced during diesel cofiring. In: *Science of the Total Environment*, 470, pp. 444-452. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2013.10.007.

107. MUKILAN, K., GANESH, A. C., AZIK, A. (2019). Investigation of utilization of fly ash in self compacting concrete. *IOP Conference Series* In: *Materials Science and Engineering*, 561(1), 012056. https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012056.

108. KELECHI, S. E., ADAMU, M., MOHAMMED, A., IBRAHIM, Y. E., OBIANYO, I. I. Durability performance of self compacting concrete containing crumb rubber, coal fly ash, and calcium carbide waste. In: *Materials*, 15(2), p. 488. (2022). https://doi.org/10.3390/ma15020488.

109. KARAŞIN, A., DOĞRUYOL, M. (2014). An experimental study on strength and

durability for utilization of coal fly ash in concrete mix. In: *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, pp. 1-6. https://doi.org/10.1155/2014/417514.

110. HOSAN, A., SHAIKH F. U. A. (2021). Compressive strength development and durability properties of high volume slag and slag-coal fly ash blended concretes containing nano-CaCO3. In: *Journal of Materials Research and Technology*, 10, pp. 1310-1322. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.001.
111. CHEN, Z., WU, S. Feasibility study of BOF slag containing honeycomb particles in asphalt mixture. In: *Constr. Build. Mater.* 2016, 124, pp. 550-557.
112. KRONBAUER, M. A., IZQUIERDO, M., DAI, S., WAANDERS, F. B., WAGNER, N. J., MASTALERZ, M., HOWER, KURDA, R., DE BRITO, J., SILVESTRE, J. D. (2017). Influence of recycled aggregates and high contents of coal fly ash on concrete fresh properties. In: *Cement and Concrete Composites*, 84, pp. 198-213. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.09.
113. ARAUJO, V.M.C., BESSA I.S. et al. Measuring skid resistance of hot mix asphalt using the aggregate image measurement system (AIMS) In: *Constr. Build. Mater.* 2015, 98, pp. 8.
114. SUMATHI, A., MOHAN, R. S., SHANKARI, G. S. (2014). Effect of CFA on fresh properties of concrete. In: *International Journal of Applied Engineering Research*, 9, pp.68.
115. MISHRA, D. K., YU, J., LEUNG, C. K. Y. Green concrete under normal and heat curing with coal fly ash from China and India. In: *Proceedings of International Conference on Waste Management and Technology*, 2018, vol. 13, p. 281.
116. PATIL, A., BANAPURMATH, N., HUNASHYAL, A. M., METI, V. K. V. (2020). Fly ash and carbon fibers reinforced aluminum-based matrix composite for structural applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1), 012160. https://doi.org/10.1088/1757 -899X/872/1/012160.
117. SAIKIA, B. K., WARD, C. R., OLIVEIRA, M. L. S., HOWER, J. C., DE LEAO, F., JOHNSTON, M. N., O'BRYAN, A., SHARMA, A., BARUAH, B. P., SILVA, L. F. O. (2015). Geochemistry and nano-mineralogy of feed coals, mine overburden, and coal-derived coal fly ashes from Assam (North-east India): A multi-CFAceted analytical approach. In: *International Journal of Coal Geology*, 137, pp. 19-37. https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.11.002.
118. ANETA, N.M. Water-binder ratio influence on de-icing salt scaling of fly ash concrete. In: Procedia Eng. 57, 2013, pp. 823-829.
119. ANGELO, S., ROBERT, O., TERRY, G., JAN, P., 2012. Artificial lightweight aggregates as utilization for future ashes _ a case study. In: Waste Manag. 32 (1), pp. 144-152.

120. BEHERA, MISHRA, M.K. California bearing ratio and Brazilian tensile strength of mine overburden-fly ash-lime mixtures for mine haul road construction. In: J. Geotech. Geol. Eng. 30 (2), 2012, pp. 449-459.
121. HAVANAGI V.G., SINHA A., GURUVITTAL U.K., MATHUR S. Utilization of fly ash in road construction CRRI experiences. In: Proceeding of National Seminar on Utilization of Fly Ash in Geotechnical Structures, Bhubaneswar, Orissa, India, 2013.
122. HOY, M., HORPIBULSUK, S., ARULRAJAH, A. Strength development of recycled asphalt pavement and fly ash geopolymer as a road construction material. In: Constr. Build. Mater. 117, pp. 209-219, 2016.
123. KOCKAL, N.U., OZTURAN, T. Effects of lightweight fly ash aggregates properties on the behaviour of lightweight concretes. In: J. Hazard. Mater. 179 (1_3), pp. 954-965, 2010.
124. KOCKAL, N.U., OZTURAN, T. Characteristics of lightweight fly ash aggregates produced with different binders and heat treatments. In: Cem. Concr. Compos. 33 (1), pp. 61-67, 2011.
125. MALLICK, S.R., MISHRA, M.K., 2017. Evaluation of clinker stabilized fly ash-mine overburden mix as sub-base construction material for mine haul roads. In: Geotech. Geol. Eng. 35 (4), pp. 1629-1644.
126. OGAWA, P.T., NAKARAI, K., KAWAI, K., 2015. A study on pozzolanic reaction of fly ash cement paste activated by an injection of alkali solution. In: J. Constr. Build. Mater. 94, pp. 28-34.
127. SAHU V. Study on Stabilized Fly ash-Lime sludge composite as Pavement Base Course Layer. Ph.D thesis, Department of Civil & Environmental Engineering, The NorthCap University, Gurugram, Haryana, India, 2017.
128. SARIDE, S., AVIRNENI, D., JAVVADI, S.C.P., PUPPALA, A.J., HOYOS, L.R. Evaluation of fly ash treated reclaimed asphalt pavement for base/subbase applications. In; Indian. Geotech. J. 2014.45 (4), pp. 401-411. https://doi.org/10.1007/s40098-014-0137-z.
129. SAHU, V., SRIVASTAVA, A., MISRA, A., SHARMA, A. Stabilization of fly ash and lime sludge composites: assessment of its performance as base course material. In: Arch. Civ. Mech. Eng. 17, pp. 475-485, 2017.
130. SAZZAD, S., RAHMAN, K., YAYKIRAN, M., AZFAR, I. The long-term performance of two fly ash stabilized fine-grained soil subbases. In: Resour., Conserv. Recycl. 54 (10), pp. 666-672, 2010.
131. SENOL, E.T.B., MD, SAZZAD, B.S., ACOSTA, H.A., BENSON, C.H. Soft subgrades stabilization by using various fly ashes. In: Resour., Conserv. Recycl. 46 (4), pp. 365-376, 2006.

132. AND 605-2016 Normativ privind mixturile asfaltice executate la cald. Condiţii tehnice de proiectare, preparare şi punere în operă a mixturilor asfaltice.
133. STAS 1913/13-83 Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor.
134. STAS 2914-4-89 Determinarea Modulului de Deformație Liniară.
135. **CHIRICUŢĂ, I**., RUSU, I.. Tests Carried Out on Roads Containing Steel Mill Slag. In: Current Trends in Civil & Struct. Eng. 10(2): 2023. pp. 1-7. doi: 10.33552/CTCSE.2023.10.000733.
136. RUSU, I., **CHIRICUŢĂ, I**. Reducerea impactului asupra mediului al zgurilor de oțelărie prin utilizarea acestora în structuri rutiere. Al XIV-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Cluj-Napoca. 10-13 sept 2014.
137. SR 174-1:2009. Lucrări de drumuri. Îmbrăcăminţi bituminoase cilindrate executate la cald.

BIBLIOGRAFIE (TRADUCERE)

1. DWIVEDI, A., JAIN, M. K. (2014). Cenușa fină de cărbune - gestionarea deșeurilor și prezentare generală: o recenzie. În: *Recent Research in Science and Technology,* 6(1), pp. 30-35. http://recent-science.com/.
2. JIANG, Y., LING, T.C., SHI, C., PAN, S.Y. Caracteristicile zgurii de oțelărie și utilizarea ei în ciment și beton - o recenzie. În: *Resources, Conservation and Recycling.* 2018, pp. 136. doi: 10.1016/j.resconrec. 2018.04.023.
3. ZAHARI, N., MOHAMAD, D., ARENANDAN, V. (2018). Studiu privind predicția generării de cenușă fină de cărbune folosind metoda statistică. *AIP Conference Proceedings,* 2031(1), 020038. https://doi.org/10.1063/1.5066994.
4. LÜTKE, S. F., MARCOS, L. S. O., LUIS, F. O. S., TITO, R. S. C. (2020). Evaluarea ansamblurilor nanominerale și a elementelor periculoase în fosfogipsul abandonat din industria îngrășămintelor fosfatice. În: *Chemosphere,* 256(127138), pp. 50-54. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127138.
5. HEMALATHA, T., RAMASWAMY, A. (2017). O recenzie a caracteristicilor cenușii fine de cărbune pentru promovarea utilizării pe scară largă în dezvoltarea betonului sustenabil. În: *Journal of Cleaner Production,* 147, pp. 546-559. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.114.
6. PASETTO, M., BALDO, N. Evaluarea experimentală a performanțelor betonului asfaltic cu zguri de oțelărie din cuptorul cu arc electric, în stratul de bază și fundația rutieră. În: *J. Hazard. Mater.* 2010, 181, p. 940.
7. Singh, R., Singh, L., Singh, S. V. (2015). Separarea oxizilor de fier si aluminiu din cenușa fină de cărbune la nivel de laborator. În: *International Journal of Mineral Processing,* 145, pp. 32-37. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.001.
8. RAHACEK, S., HUNKA, P., CITEK, D., KOLISKO, J. (2020). Determinarea experimentală a amoniacului în CF pentru betonul deja amestecat. În: *AIP Conference Proceedings,* 2210(1), pp. 20 - 26. https://doi.org/10.1063/5.0000478.
9. KAVALEVOVA, E.S., PETROPAVLOVSKY, O.M., KRIVENKO, P.V. (2000) Utilizarea zgurilor de oțelărie în lucrări de amenajare a solurilor. În: *A Paper for the International Conference on Practical Applications in Environmental Geotechnology,* Ecogeo, 4-6 September 2000, Helsinki.
10. KORNIEJENKO, K., HALYAG, N., MUCSI, G. (2019). Coal fly ash as a raw material for geopolymerisation-chemical composition and physical properties. Cenușă fină de cărbune ca

materie primă pentru geopolimerizare-compoziție chimică și proprietăți fizice. În: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 706(1), 012002. https://doi.org/10.1088/1757-899X/706/1/012002.

11. SHARMA, V., AKHAI, S. (2019). Tendințe în utilizarea cenușii fine de cărbune în India: O recenzie. În: *Journal of Engineering Design and Analysis*, 2(1), pp. 12-16. https://adrjournalshouse.com/index.php/engineering-design-analysis/article/view/499.
12. WARDHONO, A. (2018). Studiu comparativ al cenușilor fine de clasa F și clasa C ca material de înlocuire a cimentului pentru dezvoltarea rezistenței mortarului fără ciment. *IOP Conference Series.* În: *Materials Science and Engineering*, 288(1), 012019, pp. 12-15. https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012019.
13. Directiva 75/442 din 15 iulie 1975 a Consiliului Comunităţilor Europene. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 194, 25.7.1975, pp. 47-49 și 39-41.
14. Directiva 2006/12/CE din 5 aprilie 2006 privind deșeurile, a Parlamentului European și a Consiliului. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 114, 27.4.2006, pp. 9.
15. Directiva 2008/98/CE privind deșeurile și abrogarea anumitor directive. 19 noi. 2008 pp. 16.
16. Rezoluţia din 24 februarie 1997 referitoare la o strategie comunitară privind gestionarea Deşeurilor. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, C76, 11.03.1997, pp. 1.
17. Decizia nr. 1600/2002/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 22 iulie 2002 de stabilire a celui de-al şaselea program comunitar de acţiune pentru mediu. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 242, 10.09.2002, pp.1.
18. Comunicare a Comisiei din 27 mai 2003: Strategie tematică pentru prevenirea şi reciclarea deşeurilor.
19. Rezoluţia Parlamentului European din 20 aprilie 2004. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, C 104E, 30.04.2004, pp. 1.
20. Directiva 96/61/CE a Consiliului din 24 septembrie 1996 privind prevenirea şi controlul integrat al poluării. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 257, 10.10.1996, pp. 26.
21. Directiva Consiliului Comunităţilor Europene privind deşeurile (75/442/CEE) din 15 iulie 1975.
22. Directiva 2006/12/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 5 aprilie 2006.
23. Legea nr. 211/2011 privind regimul deşeurilor din 15 noiembrie 2011. Publicată în Monitorul Oficial nr. 837 din 25 noiembrie 2011.
24. Legea nr. 209 din 29.07.2016 privind deşeurile. Publicată în 23.12.2016 în Monitorul Oficial nr. 459-471 art. 916.
25. Directiva nr. 851/2018 de modificare a Directivei 2008/98/CE privind deşeurile din

30.05.2018.
26. Ordonanţa de urgenţă nr. 92/2021 privind regimul deşeurilor din 19 august 2021
27. Gestiunea integrată a deșeurilor - Ghid practic pentru decidenții din administrația locală. ISBN: 978-973-1963-47-1.
28. Decizia nr. 955/2014 de modificare a Deciziei 2000/532/CE de stabilire a unei liste de deşeuri în temeiul Directivei 2008/98/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 18.10.2014.
29. Directiva nr. 851/2018 de modificare a Directivei 2008/98/CE privind deşeurile din 30 mai 2018. În: Jurnalul Oficial al Uniunii Europene nr. 150 din 14 iunie 2018.
30. Eurostat. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics/ro.
31. Regulamentul (CE) nr. 2150/2002 al Parlamentului European și al Consiliului din 25 noiembrie 2002 referitor la statisticile privind deșeurile
32. Rezoluția Consiliului pentru Drepturile Omului al Organizației Națiunilor Unite nr. 48/13 din 8 octombrie 2021, intitulată „Dreptul omului la un mediu curat, sănătos și sustenabil" (HRC/RES/48/13).
33. Planul Național de Gestionare a Deșeurilor (PNGD), aprobat prin HG nr. 942/20.12.2017. În: Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 11 bis.
34. CIUCLEA, I. I. Economia circulară în România: oportunități, angajamente tehnice, tehnologice și administrative. Ed. Elicart 2019. ISBN: 978-606-768-207-6.
35. ANDREI, B, POPESCU, N ZELICI, L. Deficiențe apărute în exploatarea drumurilor cu straturi din agregate naturale stabilizate cu cenușă de termocentrală. În: Revista construcțiilor din 29 iulie 2024.
36. ANDREI B., POPESCU N., ZELICI L. „ROMCEN - o inițiativă pentru dezvoltare durabilă". În: Revista Drumuri. Poduri. Ed. Media Drumuri Poduri Romania, 2012.
37. CD 129/2013 - Normativ pentru execuția terasamentelor rutiere din cenușă de termocentrală.
38. PANDA, S. S., JENA, B. (2021). Comportarea la întindere a plăcilor din beton armat pe două direcții, ce conțin cenuși fine. În: *Recent Developments in Sustainable Infrastructure*. pp. 405-414.
39. PANDEY, A., TIWARI, D., YADAV, D. K., MISHRA, R. K., DESHPANDE, V. P., SHINDE, A. (2018). Stabilizarea solului sub fundații și pavaje folosind cenuși fine. În: *AMBIENT SCIENCE*, 5 pp. 28-11. https://doi.org/10.21276/ambi.2018.05.sp2.ta01.
40. ADAMU, M., MOHAMMED, B. S., LIEW, M. S. (2018). Proprietăţile mecanice şi performanța betonului de mare volum cu cenușă fină, compactat cu cilindrul, ce conține granule de cauciuc și nanosilice. În: *Construction and Building Materials*, 171, pp. 21-26.

https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.138.

41. FODOREAN, F. Propunere pentru o clasificare a drumurilor din Dacia Romană. În : Studia Universitatis Petru Maior - Series Historia. 2004. pp. 5.
42. XIE, J., WU, S., ZHANG, L., XIAO, Y., DING, W. Evaluarea potenţialului dăunător şi a caracteristicilor de încălzire ale zgurii de furnal cu oxigen, pe baza încercărilor de laborator și de teren, în timpul reutilizării pe scară largă. În: *Journal of Cleaner Production.* 2016, pp. 33. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.106.
43. DSU Galaţi. Dosar Tehnic nr. 004-07/431: LIDONIT - Agregate din zgură de oţelărie. 2001.
44. BESSA, I.S., SOARES J.B. Evaluarea rezistenței la polizare și degradare a agregatelor naturale și a zgurii de oțelărie folosind sistemul de măsurare prin imagine a agregatelor. In: *Road Mater. Pavement Des.* 2014, 15. pp. 385 - 405.
45. ГРИНЕВИЧ Н. А. Zguri metalurgice în construcții de drumuri//Probleme relevante de proiectare a autostrăzilor. Culegere de lucrări științifice. OJSC Гипродорнии. 2014. № 5 (64), с. 124-129. ISSN 2305-381X**.**
46. SR EN 13043:2003 - Agregate pentru amestecuri bituminoase şi pentru finisarea suprafeţelor utilizate la construcţia şoselelor, a aeroporturilor şi a altor zone cu trafic.
47. Producție nouă. Un nou început. În: Газета Новости, 13.07.2019. http://rnovosti.info/.
48. SC Geasol SA. Studiu de fezabilitate pentru pregătirea şi exploatarea zgurii din halda Buituri. 2002, pp. 53-56.
49. Eco Presa, 27 iunie 2020 - https://ecopresa.md/depozitul-de-deseuri-al-centralei-de-la-cuciurgan-principalul-poluator-al-regiunii-odesa/.
50. SAHA, A. K. (2018). Efectul cenușii fine de clasa F asupra proprietăților de durabilitate ale betonului. În: Sustainable Environment Research 28(1), p. 25. https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001.
51. PANDA, S., PANIGRAHI, R., NARSHIMAM, M. (2019). Comunicare privind utilizarea cenușii fine activată alcalin și a ggbfs ca beton ecologic. În: *Adalya Journal*, 8(7), pp. 91–96. https://adalyajournal.com/gallery/12-july-1624.pdf.
52. LAKSHMI, A. D., VARA, T. V. (2020). Proprietățile de durabilitate ale betonului geopolimer cu CF și metacaolin. În: *International Journal of Science and Technology Research*, 9(9), pp. 9. https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Durability-Properties-Of- Geopolymer-Concrete-With-Flyash-And-Metakaolin.pdf.
53. VOINA, N.I. Teoria şi practica utilizării cenuşilor de la centralele termoelectrice. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1981, pp. 89-92.

54. Erkens A., PRIYADARSHINI, S., MOHANAKRISHNAN, A. A., ABRI, A., SATTLER, M., TECHAPAPHAWIT, S. (2019). Proprietățile fizice, chimice și geotehnice ale cenușilor fine: Aspecte generale. In: *Case Studies in Construction Materials*, p. 11, e00263. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263.
55. KRISHNARAJ, L., RAVICHANDRAN, P. (2021). Caracterizarea cenușilor fine ca liant durabil pentru zidării. În: *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp. 259–269. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.008.
56. ABDULLAH, H.H., SHAHIN, M.A., WALSKE, M.L. Comportamentul geo-mecanic al solurilor argiloase stabilizate la temperatura ambiantă cu cenușă fină și zgură granulată încorporată cu geopolimeri. În: Soils and Foundations, 59(6), 1906-1920, 2019. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.08.005.
57. KONG, D., XIAO, Y. Evaluare comparativă a proiectării mixturii asfaltice de bază tratată cu tipuri de agregate composite. În: *Construction and Building Materials* 2017, 156, p. 85.
58. ASTM C593 - 89. Standard pentru cenușa fină și alți puzzolani pentru utilizare împreună cu varul. În: American Society for Testing and Materials Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.01, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994.
59. ARULRAJAH, A., MOHAMMADINIA, A., HORPIBULSUK, S., SAMINGTHONG, W. (2016). Influența cenușii fine de cărbune de clasa F și a temperaturii de întărire asupra dezvoltării rezistenței amestecurilor de agregate din beton reciclat cu cenușă fină de cărbune. În: *Construction and Building Materials*, 127, pp. 743-750. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.049.
60. ASTM C311 - 92a. Metode de testare standard pentru prelevarea de probe și testarea cenușii fine sau puzzolanice pentru utilizare ca amestec mineral în betonul de ciment Portland. În: American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.02, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994.
61. ZABIHI-SAMANI, M., MOKHTARI, S. P., RAJI, F. (2018). Efectele cenușii fine de cărbune asupra proprietățile mecanice ale betonului. În; *Journal of Applied Engineering Sciences*, 8(2), pp. 5-40. https://doi.org/10.2478/jaes-2018-0016.
62. ASTM C618. (2019). Standard pentru cenușa fină de cărbune și puzzolana naturală brută sau calcinată, pentru utilizare în beton. (ASTM International, Pennsylvania, United States).
63. BHAJANTRI, V., KRISHNA, P., JAMBAGI, S. (2018). O scurtă recenzie despre cenușa fină de cărbune și utilizarea sa în ingineria suprafețelor. În: *AIP Conference Proceedings* 1943(1), 020028. https://doi.org/10.1063/1.5029604.
64. STAS 9180-73 Teren de fundare. Determinarea capacităţii de reţinere a apei de către

pământuri la diferite secţiuni.

65. CHEN, W., SHAIKH, F., LI, Z., RAN, W., HAO, H. (2021). Proprietățile la compresiune dinamică ale betonului cu cenușă fină de cărbune și nano silice. În: *Construction and Building Materials*, 301, 124352. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat. 2021.124352.
66. RUSU, I., **CHIRICUŢĂ, I**. Îmbunătățirea proprietăților cenușilor fine prin amestecarea cu diverse substanțe. În: „Meridian ingineresc". nr. 4/2014. pp. 51 - 53. ISSN 1683-853X.
67. SHEN, W., ZHAO, M., MA, W., HU, J., CAI, Z. 2009. Cercetări privind aplicarea amestecului de zgură de oțelărie, cenuşă fină și fosfogips solidificat în fundațiile rutiere. În: J. Hazard. Waste 164 (1), 99_104.
68. **CHIRICUȚĂ, I**. Considerații privind utilizarea zgurilor de oțelărie în construcția de drumuri. În: Meridian ingineresc, nr. 2/2014. pp. 52 – 54. ISSN 1683-853X.
69. FENG, J., LIU, S., WANG, Z. (2015). Efectul cenușilor ultrafine asupra proprietăților betonului de înaltă rezistență. În: *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121(3), pp. 1213-1223. https://doi.org/10.1007/s10973-015-4567-3.
70. COPPOLA, L., COFFETTI, D., CROTTI, E. (2018). Mortare din cenușă fină de cărbune simplă și ultrafină folosite ca materiale de construcție ecologice. În: *Sustainability*, 10(3), p. 74. https://doi.org/10.3390/su10030874.
71. HE, X. Y., HUANG, J. X., SU, Y., YANG, J., ZHENG, Z. Q., ZHANG, C., WANG, X. J., STRNADEL, B. (2019). Proprietăți mecanice și de transport ale compozitelor din ciment și cenuși ultrafine de mare volum. În: *Key Engineering Materials*, 810 pp. 143-148. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.810.143
72. HAIDER, U., BITTNAR, Z., KOPECKY, L., ŠMILAUER, V., POKORNY, J., ZALESKA, M., PROŠEK, Z., HRBEK, V. (2016). Determinarea rolului individual al particulelor de cenuși fine de cărbune în influențarea variației globale a proprietăților fizice, morfologice și chimice ale cenușii fine de cărbune. În: *Acta Polytechnica*, 56(4), pp. 256-282. https://doi.org/10.14311/AP.2016.56.0265.
73. RAFIZA, A.R, BAKRI, A. M., KAMARUDIN, H., NIZAR, I.K., HARDJITO, D., ZARINA, Y. (2014). Evaluarea agregatului de geopolimer artificial peletizat fabricat din cenușă vulcanică australiană. În: Journal of Basic and Applied Sciences 7/5 pp. 15-20. http://repository.petra.ac.id/id/eprint/16189.
74. OLAREWAJU, A. J. (2016). Proprietățile tehnice ale betonului amestecat în diferite grade cu cenușă fină de cărbune. În: *American Journal of Engineering Research*, 5. https://www.ajer.org/papers/v5(09)/V050901460149.pdf.
75. MEI, L., LU, X., WANG, Q., PAN, Z., JI, X., HONG, Y., FANG, C., GUO, H., YANG, X.

Studiul experimental al decarbonizării cenușii fine de cărbune pe un pat fluidizat circulant de ardere. În: *Applied Thermal Engineering*, 63(2), pp. 608-615. (2014). https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.11.067.

76. HERATH, C., GUNASEKARA, C., LAW, D. W., SETUNGE, S. (2021). Performanța mecanică pe termen lung a betonului din cenușă fină de cărbune de mare volum, nano-proiectat. În: *Journal of Building Engineering*, 43, 103168. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.
77. **CHIRICUȚĂ, I**. Îmbunătățirea proprietăților cenușilor de termocentrală folosite în structurile rutiere prin amestec cu diferite substanțe - Al XIV-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Cluj-Napoca, 10-13 sept 2014.
78. LAVANYA, B., KURIYA, P. D., SUGANESH, S., INDRAJITH, R., CHOKKALINGAM, R. B. (2020). Proprietățile cărămizilor geopolimerice realizate cu cenușă fină și GGBS. În: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1), 012141. https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012141.
79. DINESH, A., ANANDHASUTHAN, S. E., ARAVIND, S., ARJUN, B. B. Investigarea experimentală a betonului de înaltă rezistență folosind CF și zgură de cupru. Prezentată la Conferința națională privind practicile inovatoare, materialele reciclabile și eficiența energetică IPRME, 2018.
80. PARIKSHITH, M., SEKHAR, D. C. (2019). Fezabilitatea geopolimerului pe bază de cenușă fină pentru stabilizarea solului. În: *Int J Innov Technol Explor Eng*, 9(1), pp. 4348- 4351.
81. OLIVEIRA, M. L., MAROSTEGA, F., TAFFAREL, S. R., SAIKIA, B. K., WAANDERS, F. B., DABOIT, K., BARUAH, B. P., SILVA, L. F. O. (2014). Investigarea nano-mineralogică a cărbunelui și a cenușii fine de cărbune din centralele electrice captive pe bază de cărbune (India): O introducere privind riscurilor pentru sănătatea muncii. În: *Science of the Total Environment*, 468, pp.1128-1137. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.040.
82. TAJUNNISA, Y., SUGIMOTO, M., SATO, T., EKAPUTRI, J. J., SHIGEISHI, M. (2016). Caracterizarea cenușii fine de cărbune cu conținut scăzut de calciu pentru pasta de geopolimer. 16th International Conference and Exhibition on Structural Faults and Repair 17 - 19 May, 2016 16 (Engineering Technics Press, Edinburgh) Radison Blu, Edinburgh, United Kingdom.
83. NOWAK-MICHTA, A., KABAT, B. Proprietățile fizice ale cenușii fine de cărbune din TWTP Cracovia după procesare. În: MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 163:

EDP Sciences, pp. 03004.

84. NIKHIL, T. R. (2019). Utilizarea unor mari cantități de CF în pavaje de beton, pentru o dezvoltare durabilă. În: *International Journal of Scientific Research*, 3(1), pp. 131-133.
85. REVATHI, J., RAJAMANE, S., (2015). Studii asupra proprietăților fizico-chimice ale CF pentru activarea lor alcalină eficientă. În: *SOJ Material Science Engineering*, 3(3), pp. 1-6. https://doi.org/10.15226/sojmse. 2015. 00129.
86. **CHIRICUȚĂ, I**. Înlocuirea agregatelor naturale utilizate în structurile rutiere cu zgură de oțelărie. În: Journal of Engineering Science. vol. XXVIII (2). 2021. pp. 120 – 124. ISSN 2587-3474.
87. **CHIRICUȚĂ, I**. Utilizarea zgurilor de oțelărie în structuri rutiere - studiu comparativ. Al XVI-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Timișoara, 21-24 sept 2022.
88. SKAF, M., MANSO, J.M. Zgura EAF în mixturi asfaltice: o scurtă trecere în revistă a posibilelor sale re-utilizări. În: *Resources, Conservation and Recycling.* 2017, pp. 176-185. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.12.009.
89. KONG, D., CHEN, M., XIE, J., ZHAO, M., YANG, C. Caracteristicile geometrice ale agregatelor din zgură BOF grosieră și influența acestora asupra betonului asfaltic. În: Materials 2019**,** 12, pp**.** 741. https://doi.org/10.3390/ma12050741.
90. KUMAR, H., VARMA, S. O trecere în revistă a utilizării zgurii de oțel în amestecul fierbinte de asfalt. În: *International Journal of Pavement Research and Technology* 14, 2021, pp. 232-242.
91. CHAO, L.I., CHEN, Z., XIE, J., SHAOPENG, W.U., XIAO, Y. A. O recenzie tehnologică și aplicativă privind mixtura asfaltică cu zgură de oțelărie. În: *Materials Review* 2017, pp. 58.
92. **CHIRICUŢĂ, I**. Utilizarea zgurilor de oţelărie în structuri rutiere - studiu comparativ. În: „Meridian ingineresc”. nr. 1/2016. p. 15. ISSN 1683-853X.
93. XIAO, Y., ERKENS, S., LI, M., MA, T., LIU, X. Materiale pentru pavaj proiectate sustenabil. În: Materials 2020**,** 13**,** pp. 1575. https://doi.org/10.3390/ma13071575.
94. AMERI, M., BEHNOOD, A. Studii de laborator pentru investigarea proprietăților amestecurilor CIR care conțin zgură de oțelărie ca înlocuitor al agregatelor naturale. În: *Constr. Build. Mater.* 2012, 26, pp. 478.
95. SALAM, Y.A., KUMAR, N. Cercetarea materialelor reziduale pentru realizarea drumurilor rurale, protejarea mediului și îmbunătățirea rezistenței drumurilor rurale. În: Materials Today: Proceedings, 32, Part 3, pp. 487-491, 2020.

https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.654.

96. KAMBOLE, C., PAIGE-GREEN, P., KUPOLATI, W.K., NDAMBUKI, J.M., ADEBOJE, A.O. Zgura de furnal cu oxigen pentru pavajele rutiere: o recenzie a caracteristicilor și performanțelor materialelor pentru o utilizare eficientă în Africa de Sud. În: *Construction Building Materials.* 2017, pp. 618- 631. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.036.
97. SR EN 12697-34:2020 Mixturi asfaltice. Metode de încercare. Partea 34: Încercare Marshall.
98. CD 31 - 2002 Normativ pentru determinarea prin deflectografie și deflectometrie a capacității portante a drumurilor cu structuri rutiere suple și semirigide cu deflectograful Lacroix și deflectometrul cu pârghie tip Benkelman - Anexă la ordinul MTCT nr. 619 din 23 octombrie 2003.
99. STAS 8942/3 - 90 Teren de fundare. Determinarea modului de deformaţie liniară prin încercări pe teren cu placa.
100. PD 177 – 2001 Normativ pentru dimensionarea sistemelor rutiere suple şi semirigide (Metoda analitică).
101. WANGA, D., TAWKA, M., INDRARATNAB, B., HEITORA, A., RUJIKIATKAMJORNA, C. Amestecuri de reziduuri de la spălarea cărbunilor și cenușă fină folosite ca material pentru fundația pavajelor. În: Transp. Geotech. 21,100265. 2019. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100265.
102. SR 7970:2001 Lucrări de drumuri. Straturi de bază din mixturi asfaltice cilindrate executate la cald. Condiţii tehnice de calitate şi prescripţii generale de execuţie.
103. BAKARE, M.D., PAI, R.R., PATEL, S., SHAHU, J.T. Sustenabilitatea mediului prin utilizarea în vrac a cenușii fine și a GBFS ca materiale pentru fundația drumurilor. În: J. Hazard. Toxic. Radioact. Waste 23 (4), 04019011, 2019.
104. OGUNDIRAN, M. B., KUMAR, S. (2016). Sinteză privind geopolimeri cu argilă calcinată și cenușă fină de cărbune: reactivitate, rezistență mecanică, structurală și microstructurală. În: *Construction and Building Materials*, 125, pp. 450-457. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.076.
105. FINKELMAN, R. B., WOLFE, A., HENDRYX, M. S. (2021). Impactul viitor al cărbunelui asupra mediului și sănătății. În: *Energy Geoscience*, 2(2), pp. 99-112. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.11.001.
106. MARTINELLO, K., OLIVEIRA, M. L. S., MOLOSSI, F. A., RAMOS, C. G., TEIXEIRA, E. C., KAUTZMANN, R. M., SILVA, L. F. O. (2014). Identificarea directă a elementelor periculoase ultrafine și nanominerale din cenușa zburătoare de cărbune produsă în timpul

arderii. În: *Science of the Total Environment*, 470, pp. 444-452. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2013.10.007.

107. MUKILAN, K., GANESH, A. C., AZIK, A. (2019). Cercetări privind utilizarea cenușii fine în betonul autocompactant. *IOP Conference Series* În: *Materials Science and Engineering*, 561(1), 012056. https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012056.
108. KELECHI, S. E., ADAMU, M., MOHAMMED, A., IBRAHIM, Y. E., OBIANYO, I. I. Durabilitatea betonului autocompactant care conține granule de cauciuc, cenușă fină de cărbune și deșeuri de carbură de calciu. În: *Materials*, 15(2), p. 488. (2022). https://doi.org/10.3390/ma15020488.
109. KARAŞIN, A., DOĞRUYOL, M. (2014). Studiu experimental asupra rezistenței și durabilității în cazul utilizării cenușii fine de cărbune în amestecul de beton. În: *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, pp. 1-6. https://doi.org/10.1155/2014/417514.
110. HOSAN, A., SHAIKH F. U. A. (2021). Dezvoltarea rezistenței la compresiune și durabilitatea betoanelor de volum mare amestecate cu zgură și cenușă fină care conțin nano- CaCO3. În: *Journal of Materials Research and Technology*, 10, pp. 1310-1322. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.001.
111. CHEN, Z., WU, S. Studiu de fezabilitate al zgurii BOF care conține particule tip fagure în mixturile asfaltice. În: *Constr. Build. Mater.* 2016, 124, pp. 550-557.
112. KRONBAUER, M. A., IZQUIERDO, M., DAI, S., WAANDERS, F. B., WAGNER, N. J., MASTALERZ, M., HOWER, KURDA, R., DE BRITO, J., SILVESTRE, J. D. (2017). Influența agregatelor reciclate și a conținutului ridicat de cenușă fină de cărbune asupra proprietăților betonului proaspăt. În: *Cement and Concrete Composites*, 84, pp. 198-213. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.09.
113. ARAUJO, V.M.C., BESSA I.S. et al. Măsurarea rezistenței la derapaj a mixturii calde de asfalt folosind sistemul de măsurare imagistică a agregatelor (AIMS). În: *Constr. Build. Mater.* 2015, 98, pp. 8.
114. SUMATHI, A., MOHAN, R. S., SHANKARI, G. S. (2014). Efectul CF asupra proprietăților betonului. În: *International Journal of Applied Engineering Research*, 9, p. 68.
115. MISHRA, D. K., YU, J., LEUNG, C. K. Y. Beton ecologic cu întărire normală și termică, cu cenușă fină de cărbune din China și India. În: *Proceedings of International Conference on Waste Management and Technology*, 2018, vol. 13, p. 281.
116. PATIL, A., BANAPURMATH, N., HUNASHYAL, A. M., METI, V. K. V. (2020). Matrice compozită pe bază de aluminiu ranforsat cu cenușă fină și fibre de carbon pentru aplicații

structurale. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1), 012160. https://doi.org/10.1088/1757 -899X/872/1/012160.

117. SAIKIA, B. K., WARD, C. R., OLIVEIRA, M. L. S., HOWER, J. C., DE LEAO, F., JOHNSTON, M. N., O'BRYAN, A., SHARMA, A., BARUAH, B. P., SILVA, L. F. O. (2015). Geochimia și nano-mineralogia cenușilor fine provenite din varietăți de cărbune din Assam (nord-estul Indiei): o abordare analitică multi-CFațete. În: *International Journal of Coal Geology*, 137, pp. 19-37. https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.11.002.
118. ANETA, N.M. Influența raportului apă-liant asupra sărurilor din betonul cu cenușă fină. În: Procedia Eng. 57, 2013, pp. 823-829.
119. ANGELO, S., ROBERT, O., TERRY, G., JAN, P., 2012. Agregate artificiale ușoare ca utilizare viitoare pentru cenuși _ un studiu de caz. În: Waste Manag. 32 (1), pp. 144-152.
120. BEHERA, MISHRA, M.K. Raportul de încărcare California și rezistența la tracțiune braziliană pentru amestecuri de deșeuri de mină, cenuși fine și var pentru construcția drumurilor de transport minier. În: J. Geotech. Geol. Eng. 30 (2), 2012, pp. 449-459.
121. HAVANAGI V.G., SINHA A., GURUVITTAL U.K., MATHUR S. Utilizarea cenușii fine în construcția drumurilor CRRI. În: Proceeding of National Seminar on Utilization of Fly Ash in Geotechnical Structures, Bhubaneswar, Orissa, India, 2013.
122. HOY, M., HORPIBULSUK, S., ARULRAJAH, A. Creșterea rezistenței pentru asfalt reciclat și geopolimer din cenușă fină ca materiale de construcție a drumurilor. În: Constr. Build. Mater. 117, pp. 209-219, 2016.
123. KOCKAL, N.U., OZTURAN, T. Efectele proprietăților agregatelor ușoare de cenușă fină asupra comportamentului betoanelor usoare. În: J. Hazard. Mater. 179 (1_3), pp. 954-965, 2010.
124. KOCKAL, N.U., OZTURAN, T. Caracteristicile agregatelor ușoare de cenușă fină produse cu diferiți lianți și tratamente termice. În: Cem. Concr. Compos. 33 (1), pp. 61-67, 2011.
125. MALLICK, S.R., MISHRA, M.K., 2017. Evaluarea amestecului de cenuşă fină stabilizată cu clincher și deșeuri de mina ca material de construcție pentru fundația drumurilor. În: Geotech. Geol. Eng. 35 (4), pp. 1629-1644.
126. OGAWA, P.T., NAKARAI, K., KAWAI, K., 2015. Un studiu asupra reacției puzolanice a pastei de ciment cu cenușă fină activată printr-un aport de soluție alcalină. În: J. Constr. Build. Mater. 94, pp. 28-34.
127. SAHU V. Studiu asupra compozitului stabilizat de cenuşă fină și pastă de var ca strat de fundație pentru pavaje. Ph.D thesis, Department of Civil & Environmental Engineering, The NorthCap University, Gurugram, Haryana, India, 2017.

128. SARIDE, S., AVIRNENI, D., JAVVADI, S.C.P., PUPPALA, A.J., HOYOS, L.R. Evaluarea pavajului asfaltic recuperat tratat cu cenușă fină pentru utilizarea în fundații. În; Indian. Geotech. J. 2014.45 (4), pp. 401-411. https://doi.org/10.1007/s40098-014-0137-z.
129. SAHU, V., SRIVASTAVA, A., MISRA, A., SHARMA, A. Stabilizarea compozitului din cenușă fină și pastă de var: evaluarea performanței sale ca material pentru fundații. În: Arch. Civ. Mech. Eng. 17, pp. 475-485, 2017.
130. SAZZAD, S., RAHMAN, K., YAYKIRAN, M., AZFAR, I. Performanța pe termen lung a două soluri cu granulație fină, stabilizate cu cenușă fină. În: Resour., Conserv. Recycl. 54 (10), pp. 666-672, 2010.
131. SENOL, E.T.B., MD, SAZZAD, B.S., ACOSTA, H.A., BENSON, C.H. Stabilizarea solurilor moi prin folosirea diverselor cenuși fine. În: Resour., Conserv. Recycl. 46 (4), pp. 365-376, 2006.
132. SHAFIQUE, S.B., RAHMAN, K., YAYKIRAN, M., AZFAR, I. Performanța pe termen lung a două fundații din soluri cu granulație fină, stabilizate cu cenușă zburătoare. În: Resour., Conserv. Recycl. 54 (10), pp. 666-672, 2010.
133. SHAHU, J.T., PATEL, S., SENAPATI, A. Proprietățile tehnice ale amestecului de zgură de cupru, var și cenușă fină și utilizarea acestuia în stratul de bază al pavajelor flexibile. În: J. Mater. Civ. Eng. 25 (12), pp. 1871-1879. 2013.**.**
134. STAS 2914-4-89 Determinarea Modulului de Deformație Liniară.
135. **CHIRICUȚĂ, I**., RUSU, I.. Teste efectuate pe drumuri ce conțin zgură de oțelărie. În: Current Trends in Civil & Struct. Eng. 10(2): 2023. pp. 1-7. doi: 10.33552/CTCSE.2023.10.000733.
136. RUSU, I., **CHIRICUȚĂ, I**. Reducerea impactului asupra mediului al zgurilor de oțelărie prin utilizarea acestora în structuri rutiere. Al XIV-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, Cluj-Napoca. 10-13 sept 2014.
137. SR 174-1:2009. Lucrări de drumuri. Îmbrăcăminţi bituminoase cilindrate executate la cald.

Anexa 1. Document care atestă participarea autorului la cel de-al XVI-lea Congres Național de Drumuri și Poduri - Timișoara, 21-24 septembrie 2022

ASOCIAŢIA PROFESIONALĂ DE DRUMURI ŞI PODURI DIN ROMÂNIA
Bul. Dinicu Golescu nr. 41, ap. 37, sector 1, Bucureşti, cod 010868
Tel./fax: 0040.21.316.13.24; 316.13.25 Cod fiscal: RO 4631659
E-mail: office@apdp.ro Pagina WEB: www.apdp.ro
Cont: RO 82 BTRL RON CRT 0P 4612 0101 Banca Transilvania

A.P.D.P. România
INTRARE IEŞIRE Nr. 56
Ziua 27 Luna 09 Anul 2022

Prin prezenta se confirmă că domnul Ion Chiricuţă a participat la cel de-al XVI-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri, care s-a desfăşurat la Timişoara în perioada 21-24 septembrie 2022.

Domnul Chiricuţă a avut acceptată lucrarea **UTILIZAREA ZGURILOR DE OŢELĂRIE ÎN STRUCTURI RUTIERE - STUDIU COMPARATIV**, în cadrul Temei 3 a congresului: **Infrastructuri reziliente (structuri rutiere, poduri, terasamente).**

Secretar general A.P.D.P. România
Artemiza GRIGORAŞ

Consiliul Central al Asociației Profesionale de Drumuri și Poduri din România

Bucureşti, 27 septembrie 2022

Anexa 2. Certificat de conformitate a controlului producției în fabricăNumprul:-233-2022 din 11.03.2023

Certification Body CertMatCon

Organism Certificare Produse CERTMATCON
MD2023, str. Uzinelor, 4/2, of. 4, mun. Chișinău, Republica Moldova.
tel./fax. +373 22 903 001, mob. +373 78 191 001.
www.certmatcon.md **e-mail:** office@certmatcon.md.

MOLDAC

CERTIFICAT

DE CONFORMITATE A CONTROLULUI PRODUCȚIEI ÎN FABRICĂ
Numărul: CPF-233-2022

În conformitate cu Hotărârea de Guvern Nr. 913 din 25.07.2016 privind aprobarea Reglementării tehnice cu privire la cerințele minime pentru comercializarea produselor pentru construcții, acest certificat se aplică pentru:

AGREGAT ARTIFICIAL DIN ZGURĂ DE FURNAL PENTRU:
- Betoane
- Lucrări de inginerie civilă și drumuri

0-4 mm; 4-8 mm; 8-16 mm; 16-22,4 mm; 16-31,5 mm

Produse de:
KTC EUROPA SRL,
Republica Moldova, mun. Chișinău, str. Constantin Tănase, 9 of. 5*
Loc de fabricare: **sat. Sărăței, rl Râbnița.**

Acest certificat atestă că toate prevederile privind evaluarea și verificarea constanței performanței și performanțele descrise în Anexa ZA a standardului

SM SR EN 12620+A1:2010
SM SR EN 13043:2010

după sistemul 2+ pentru performanțele stabilite în acest certificat sunt aplicate și controlul producției în fabrică îndeplinește toate cerințele specificate pentru aceste performanțe.

Acest certificat va rămâne valabil atât timp cât standardul armonizat, produsul pentru construcții, metodele de evaluare a constanței performanței și condițiile de producție în fabrică nu sunt modificate esențial. Acest certificat poate fi suspendat sau retras dacă se constată că nu se mențin condițiile în baza cărora a fost emis.

Certificare inițială	11.03.2023
Modificare	08.09.2023
Expirare	10.03.2025

VIZAT OC CertMatCon

Director General
Ion PUHA

Certificat valabil doar cu condiția vizării anuale.

Сканировано с CamScanner

Anexa 3. Raport de încercări Nr. 196/2 din 01.03.2023

Centrul de Încercări, Expertiză și Cercetare (CIEC)
din cadrul „CERTMATCON" SRL
MD-2023, Republica Moldova,
mun. Chișinău, str. Uzinelor, 4/2, etaj 4, of. 4.
sediu: mun. Chișinău, str. Feredeului, 12.
tel./fax. 022-903-001, mob. 078-191-001, 078-191-003.
www.certmatcon.md, laborator@certmatcon.md

Raport de încercări
Nr. 196/2 din 01.03.2023

Agentul economic	*"KTC-EUROPA" S.R.L., mun. Chișinău, str. Doctor Tudor Strișcă, 8/1, of. 18, Republica Moldova*
Solicitant	*OC "CertMatCon" SRL*
Denumirea produsului	*Agregat artificial din zgură de furnal*
Producător	*Agentul economic*
Documente de însotire	*Cererea Nr. 196 din 28.02.2023, act de eșantionare Nr. 233-01 din 22.02.2023 de la OC CertMatCon S.R.L*
Prezentat de către	*Natalia Melnicova - expert OC CertMatCon SRL*
Cantitatea/masa probei	*1,0 kg*
Numărul de laborator al probei	*196-2*
Data receptiei	*28.02.2023*
Data încercărilor	*01.03.2023*
Documentul normativ-metoda de încercări	*GOST 30108-94 pct. 4.2 (anulat)*
Documentul normativ-cerința tehnică	*RNI 06-5.3.35:2001 pct. 2.2*
Scopul încercărilor	*Asigurarea controlului calității produsului*
Condițiile de încercare	*U= 63%, T= 19,4 C°*
Echipamentele folosite pentru încercări	*Complex spectrometric MKC AT 1315 (CE-nr. BY 01 502-48 din 27.08.2021)* *Cântar de laborator BSN-1.5D1.3 (CE- nr. MD 10 3.2-141/2022 din 02.03.2022)*

REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR

Radionuclizii	DN - metoda de încercări GOST 30108-94	DN - cerința tehnică RNI 06-5.3.35:2001	Valoarea admisibilă	Valoarea reală	Incertitudinea extinsă
RA-226 Bq/kg	pct. 4.2	pct. 2.2	-	45.4	5.64
TH-232 Bq/kg			-	17.7	3.35
K-40 Bq/kg			-	0.00	50.3
A_{eff} Bq/kg			≤300	68.3	8.43

Declarație de conformitate:

Notă: 1. Raportul de încercări e valabil numai pentru proba efectuată.
2. Reproducerea raportului de încercări nu se permite fără acordul laboratorului.
3. Rezultatele se eliberează cu incertitudinea extinsă: k = 2; P = 95%.

Executor încercări — **Chirillov Aliona** /nume, prenume/ — /semnătura/

L.Ș.

Șef CIEC — **Rotari Anatolie** /nume, prenume/ — /semnătura/

Cod F–7.8.1.2-2 Versiunea 1.1 din 14.02.2023 Pagina 1 / 1

Anexa 4. Raport de încercări pe zguri de oțelărie realizate la CIPC INCERC TEST-Chișinău

„CIPC INCERC TEST" SRL
Adresa juridică: mun. Chișinău, bd. Dacia, 38, ap. 336
Sediu: mun. Chișinău, str. Varnița, 16/1.
tel. + (373) 79 067 999, email: cipcincerctest@gmail.com

RAPORT DE ÎNCERCĂRI

Nr. 41 din 17.03.2023

Solicitantul/Agentul economic:	Facultatea Urbanizm și Arhitectura , UTM bd/.dacia,39, mun. Chișinău, Republica Moldova
Numărul și data cererii:	Nr. 41 din 03.03.2023
Denumirea probei:	Agregate artificiale concasate din zgură de oțelărie:
Numărul și descrierea probei intrate în laborator:	41.1. Agregat fin, sort 0-4 mm; 41.2 Agregat grosier concasat, sort 4-8 mm; 41.3 Agregat grosier concasat, sort 8-16 mm.
Producătorul:	Agentul economic
Locul de eșantionare a probei:	Depozit de producere MMZ, Str. Nicolai Cernâșevschi 51, or. Râbnița, Republica Moldova
Numărul și data actului de eșantionare:	Nr. 1 din 03.03.2023
Responsabilul privind eșantionarea:	CIRICUȚA Ion, Doctorant al FUA, UTM /Eșantionarea probelor a fost asigurată de către solicitant/client pe propria răspundere/
Documentul normativ privind eșantionarea:	SM SR EN 932-1:2013
Probele au fost prezentate de către:	RUSU Ion, Doctor Habilitat în Științe Tehnice CIRICUȚA Ion, Doctorand al FUA, UTM
Scopul încercărilor:	Determinarea parametrilor produselor pentru încercări.
Locul efectuării încercării:	CÎ "CIPC INCERC TEST" SRL Str. Varnița 16/1, mun. Chișinău, Republica Moldova
Perioada efectuării încercării:	03.03.2023 - 17.03.2023
Documentul normativ - metoda de încercare:	SM EN 933-1:2016, SM SR EN 933-5:2013/A1:2013, SM SR EN 933-4:2013, SM SR EN 933-9:2022, SM EN 1097-1:2014, SM EN 1097-2:2020,
Documentul normativ - cerința tehnică:	SM SR EN 12620+A1:2010. Agregate pentru beton. SM SR EN 13242+A1:2010. Agregate din materiale nelegate sau legate hidraulic pentru utilizare în inginerie civilă și în construcții de drumuri.
Echipamentul folosit pentru încercări:	Aparat de cântărit tip BS-6D1.3 (CE – nr. MD 10 3.2-31/2022 din 28.04.2022); Aparat de cântărit tip FLY (CE – nr. K22050040/2022 din 11.05.2022); Rezervor de apă cu termostat (Proces verbal nr. 2 din 09.02.2023); Set de sită Ø 300 mm seria de baza (CE – nr. K22050001– K22050027 din 11.05.2022, H211211562 din 25.12.2021); Etuvă de uscare tip LT-G0203 (Proces verbal nr. 17 din 09.02.2023); Termometru cu gradație de 1°C tip UT-890 C(CE – nr. MD-10.3.4-191/2022 din 16.03.2022); Aparat Los Angeles (Act Nr. 1 din 10.02.2022). Aparat Micro Deval, tip LT-A0067(Act Nr. 22 din 10.02.2022)
Condițiile de mediu:	Temperatura aerului, °C 17 Umiditatea relativă, % 68

RAPORT DE ÎNCERCĂRI

Nr. 41din 17.03.2022

REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR (proba nr. 41.1)
Agregat fin natural, sort 0-4 mm

Nr.	Denumirea indicilor, u/m	DN Metoda de încercare	DN Cerinţa tehnică	Valoarea admisibilă	Rezultatul încercării	Incertitudinea, ±Ux,%
1.	Masa volumetrică reală, Mg/m³	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct.5.5 SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.4	≥ 2,00	3,55	0,24 g/cm³
2.	Masa volumetrică în vrac, Mg/m³	SM SR EN 1097-3:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.6 SM SR EN 13242+A1:2010	Valoare declarată-	1,33	1,2 kg/m³
3.	Coeficientul de absorbţie al apei, %	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.5 SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.5	Valoare declarată	6,8	-
4.	Conţinut de părţi fine, %	SM EN 933-1:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 4.6, tab.11	≤3	2,4	1,9
	Categorie (f)				f_3	
	Conţinut de părţi fine, %		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.6, tab. 8	≤3	2,4	
	Categorie (f)				f_3	

5 Determinarea granulozităţii (SM EN 933-1:2016)

Mărimea ochiurilor sitei, mm	2 D 8	1,4 D 5,6	D 4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Valoarea admisibilă, SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 4.3.3, tab.2 (d=0, D≤4)	100	95-100	85-99	-	-	-	-	-	-
Procent masic de trecere, %	100	100,0	91,4	60,4	43,4	26,6	14,2	7,0	2,4
Categorie (G^d)	G_F85								
Valoarea admisibilă, SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.3.1, tab. 2 (d=0, D≤6,3)	100	98-100	85-99	-	-	-	-	-	-
Procent masic de trecere, %	100	100,0	91,4	60,4	43,4	26,6	14,2	7,0	2,4
Categorie (G)	G_F85								

RAPORT DE ÎNCERCĂRI

Nr. 41din 17.03.2022

REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR (proba nr. 41.2)
Agregat concasat, sort 4-8 mm

Nr.	Denumire indici, u/m	DN Metoda de încercare	DN Cerința tehnică	Valoarea admisibilă	Rezultatul încercării	Incertitudinea, ±Ux, %
1.	Forma agregatului grosier. Indicii de formă	SM SR EN 933-4:2013	SM SR EN 12620+A1:2010, pct. 4.4 tab.9	≤ 15	10,1	1,13
	Categorie (SI)				SI_{15}	
	Forma agregatului grosier. Indicii de formă		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.4, tab.6	≤ 20	10,1	
	Categorie (SI)				SI_{20}	
2.	Coeficientul de absorbție al apei, %	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct.5.5	Valoarea declarată	2,8	-
	Coeficientul de absorbție al apei, %		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.5		2,8	
3.	Conținut de particule fine, %	SM EN 933-1:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 Pct. 4.6 tab. 11	≤ 1,5 - > 4	1,4	1,9
	Categorie (f)				$f_{1,5}$	
	Conținut de particule fine,%		SM SR EN 13242+A1:2010 Pct. 4.6, tab. 8	≤ 2 - > 4	1,4	
	Categorie (f)				f_2	
4.	Masa volumetrică reală, Mg/m^3	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct.5.5	≥ 2,00	3,55	0,88
5.	Masa volumetrică în vrac, Mg/m^3	SM SR EN 1097-3:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.6	Valoarea declarată-	1,53	1,2
			SM SR EN 13242+A1:2010		1,53	

6 Determinarea granulozității (SM EN 933-1:2016)

Mărimea ochiurilor sitei, mm	2 D 16	1,4 D 11,2	D 8	d 4	d/2 2
Valoarea admisibilă, SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 4.3.3, tab.2 (D/d > 2, D > 11,2)	100	98-100	90-99	0-15	0-5-
Procent masic de trecere,	100	100	93,6	3,90	1,4
Categorie (G^d)	G_c 90/15				
Valoarea admisibilă, SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.3.1, tab. 2 (d > 1, D > 2)	100	98-100	85-99	0-15	0-5
Procent masic de trecere, %	100	100	93,6	3,90	1,4
Categorie (G)	G_c85-15				

RAPORT DE ÎNCERCĂRI

Nr. 41din 17.03.2022

REZULTATELE ÎNCERCĂRILOR (proba nr. 41.3)
Agregat concasat, sort 8-16 mm

Nr.	Denumire indici, u/m	DN Metoda de încercare	DN Cerința tehnică	Valoarea admisibilă	Rezultatul încercării	Incertitudinea, ±Ux, %
1.	Forma agregatului grosier. Indicii de formă	SM SR EN 933-4:2013	SM SR EN 12620+A1:2010, pct. 4.4 tab.9	≤ 15	13,1	1,13
	Categorie (SI)				SI_{15}	
	Forma agregatului grosier. Indicii de formă		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.4, tab.6	≤ 20	13,1	
	Categorie (SI)				SI_{20}	
2.	Coeficientul de absorbție al apei, %	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct.5.5	Valoarea declarată	2,2	-
	Coeficientul de absorbție al apei, %		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.5		2,2	
3.	Conținut de particule fine, %	SM EN 933-1:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 Pct. 4.6 tab. 11	≤ 1,5 - > 4	0,9	1,9
	Categorie (f)				$f_{1,5}$	
	Conținut de particule fine,%		SM SR EN 13242+A1:2010 Pct. 4.6, tab. 8	≤ 2 - > 4	0,9	
	Categorie (f)				f_2	
4.	Masa volumetrică reală, Mg/m^3	SM EN 1097-6:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct.5.5	≥ 2,00	3,15	0,88
5.	Masa volumetrică în vrac, Mg/m^3	SM SR EN 1097-3:2016	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.6	Valoarea declarată-	1,52	1,2
			SM SR EN 13242+A1:2010		1,52	
6.	Rezistența la uzură (M_{DE}), % (Micro-Deval, sort 10-14)	SM EN 1097-1:2014	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.3, tab. 14	≤ 35	13,5	0,69
	Categorie (M_{DE})				$M_{DE}15$	
	Rezistența la uzură (M_{DE}), % (Micro-Deval, sort 10-14)		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.3, tab. 11	≤ 50	13,5	
	Categorie (M_{DE})				$M_{DE}15$	
7.	Rezistența la fragmentare, % (Los Angeles, sort 10-14)	SM EN 1097-2:2020	SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 5.2 tab. 12	≤ 50	20,22	1,07
	Categorie (LA)				LA 25	
	Rezistența la fragmentare, % (Los Angeles, sort 10-14)		SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 5.2, tab. 9	≤ 60	20,22	
	Categorie (LA)				LA 25	

RAPORT DE ÎNCERCĂRI

Nr. 41din 17.03.2022

8 Determinarea granulozității (SM EN 933-1:2016)

Mărimea ochiurilor sitei, mm	2 D 32	1,4 D 22,4	D 16	d 8	d/2 4
Valoarea admisibilă, SM SR EN 12620+A1:2010 pct. 4.3.3, tab.2 (D/d > 2, D > 11,2)	100	98-100	90-99	0-15	0-5-
Procent masic de trecere,	100	100	94,55	9,55	0,9
Categorie (G^d)	G_c 90/15				
Valoarea admisibilă, SM SR EN 13242+A1:2010 pct. 4.3.1, tab. 2 (d > 1, D > 2)	100	98-100	85-99	0-15	0-5
Procent masic de trecere, %	100	100	94,55	9,55	0,9
Categorie (G)	G_c85-15				

Executantul/ Doctorant CHIRICUȚA Ion

Verificat/Şef al CÎ: /Dr. Ing/ SCAMINA Raisa

Câte un exemplar al raportului de încercări este transmis pentru:
1. FUA UTM
2. CÎ "CIPC INCERC TEST" SRL

NOTE: În atenția producătorilor, utilizatorilor și organelor de control:

1. Rezultatele încercărilor se referă la probele încercate.
2. Raportul de încercări nu poate fi reprodus, multiplicat sau difuzat fără permisiunea SRL"CIPC INCERC TEST".
3. Rezultatele încercărilor ce nu sunt acoperite de acreditare sunt marcate cu *.
4. Rezultatele încercărilor obținute prin subcontractare sunt marcate cu **.
5. Rezultatele încercărilor sunt prezentate cu incertitudini extinse Up. Incertitudinea extinsă este obținută prin multiplicarea incertitudinii standard cu factorul de extindere k=2, ce corespunde intervalului de încredere de aproximativ 95% la o distribuție normală.

Anexa 5 Raport privind încercări pe carote din mixturi asfaltice ce conțin zguri de oțelărie

Asocierea S.C. SA PE CONSTRUCT S.R.L. - S.C. SPEDITION UMB S.R.L. - S.C. TEHNOSTRADE S.R.L.

S.C. SPEDITION UMB S.R.L.
LABORATOR DE INCERCARI IN ACTIVITATEA DE CONSTRUCTII;
JUD. ARGES,LOCALITATEA COSTESTI,Sat Parvu Rosu,Tarla 12,Parcela 163
AUTORIZATIA:Nr. 3956/14.12.2022

B1-12

RAPORT DE INCERCARI CAROTE MIXTURI ASFALTICE

Nr.: 1703.5 Data: 01.04.2023

I.OBIECTIVUL:	Proiectare si Executie Autostrada de Centura Bucuresti km 0+000 - km 100+900 Sector Centura Nord km 0+000 - km 52+770 Lot 2:km 20+000 - km 39+000
II.PROVENIENTA PROBEI:	agregate artificiale din zgura de otelarie
Tipul carotei:	carota Ø 100 mm din mixtura asfaltica tip:BAD 22.4 leg. PMB 45/80,cu aditiv de adezivitate
Indicativ proba:	CRT BAD 22.4/24
Stratul executat:	strat de legatura din mixtura asfaltica tip:BAD 22.4 leg. PMB 45/80,cu aditiv de adezivitate
Statia furnizoare:	statia de preparare mixturi asfaltice-sat Dimieni,com. Tunari,jud. Ilfov
Locul de recoltare:	A0 NORD LOT 2 km 20+000 - km 39+000: km 0+340 br 7 nod 2,la 1.5 m de mrg
Data prelevarii:	cf. borderou de recoltare nr. 1664 / 30.03.2023
Data inceperii determinarilor:	30.03.2023
Data finalizarii determinarilor:	01.04.2023

III.REZULTATE OBTINUTE:

Nr. crt.	Determinari efectuate pe mixtura	U.M.	Rezultatul incercarii cf. RI 1703/01.04.2023	Reteta nr. R 011/01.02.2022	Conditii de calitate AND 605-2016	Norma de incercare
1	densitate aparenta mixtura	kg/m^3	2493	-	-	SR EN 12697-6 met. A

Nr. crt.	Determinari efectuate pe carota	U.M.	Rezultatul incercarii cf. RI 1703/01.04.2023	Conditii de calitate AND 605-2016	Norma de incercare
1	inaltime carota	cm	5.28	cf. proiect	SR EN 12697-29
2	densitate aparenta	kg/m^3	2472	-	SR EN 12697-6 met. A
3	grad de compactare	%	99.2	min. 96	AND 605-2016
4	absorbtia de apa	%	3.3	3-8	AND 605-2016

*Incercarile nu au fost efectuate sub presiuni de nicio forma
*Raportul de incercare nu poate fi multiplicat decat integral,cu aprobarea laboratorului emitent,nefiind utilizat decat in scopul in care a fost emis
*Rezultatele din prezentul raport se refera numai la produsele incercate

Ing. RADU AURELIAN BARGAN
verificat:sef laborator
ing. Radu Bargan
MD. D. BBABP

intocmit:
ing. Mircea Sara

Anexa 6 Raport privind încercările pe zguri de oțelărie realizate la Societatea de Construcții în Transporturi București S.A., Caiet de sarcini și Document de avizare

SOCIETATEA DE CONSTRUCTII IN TRANSPORTURI BUCURESTI S.A.
LABORATOR GRAD II
Autorizatia nr. 02.8.2.0008/19.02.2003
Tel. 210 60 25: Fax 210 20 70

COD DOCUMENT
FL-P1-03

RAPORT DE INCERCARE
GRAD DE COMPACTARE

Nr. 1.831 / 30.06.2004

Expeditor proba / adresa: S.C.T. BUCURESTI; SANTIER OTOPENI
Lucrarea : **Ranforsare sistem rutier Centura Bucuresti sector DN 2 - A 2; km 12+700-23+600 TRONSON EXPERIMENTAL km 22+120-22+660**
Document de transmitere probe: P.V. 7/29.06.2004; DMQI 618/29.06.2004
Tipul materialului: **AMESTEC OPTIMAL ZGURA**

Caracteristici de compactare conform R.I. 6.644/14.06.2004

y d max= 2.310 g/cm^3
w opt. = 9.8 %

Nr. crt.	Pozitie proba	Tipul de material pus in opera	Volum proba	Greutate proba		Umid.	Greutate volum.		Grad de compact.
				umeda	uscata		umeda	uscata	
			cm^3	g	g	%	g	g	%
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	km 22+180 stg.	Amestec opt. zgura	11.6	28.855	26.742	7.9	2.488	2.305	99.8
2	km 22+300 ax	Amestec opt. zgura	12.5	31.185	28.875	8.0	2.495	2.310	100
3	km 22+520 dr.	Amestec opt. zgura	11.4	28.327	26.229	8.0	2.485	2.301	99.6

Laborant: Maria NEAGU

Sef profil: tehn. Viorica ZDROB

Sef compartiment AQ SCT: ing. Mirela TANASESCU

S.C.T. COMPARTIMENT A.Q.

Sef laborator: ing. Gabriela ZMEU

R.I. se refera numai la grade de compactare.
R.I. nu se multiplica sau utilizeaza in alte scopuri fara aprobarea emitentului.
Prezentul R.I. contine 1 file.

SOCIETATEA DE CONSTRUCTII IN TRANSPORTURI S.A. BUCURESTI
LABORATORUL CENTRAL-GRAD II-
Autoriz.nr.02.8.2.0008/19.02.2003
str. Opanez nr. 3A, sect.2
Tel:210.60.25; Fax: 210 20 70

COD DOCUMENT
FL-P6-01

RAPORT DE INCERCARE
AGREGATE
NR. 6.910 / 12.07.2004

Expeditor proba / Adresa: S.C.T. BUCURESTI S.A.
Lucrarea: Ranforsare sistem rutier centura Bucuresti;sect. DN2-A2, km 12+700-23+600
SECTOR EXPERIMENTAL
Document de transmitere a probei: P.V. nr. 15 / 09.07.2004; DMQI 662 / 09.07.2004
Tipul de agregate: **AMESTEC OPTIMAL**
Sursa**: TIRGOVISTE**
Provenienta proba : km 22+510 stg. si km 22+520 dr.
SORT: 0-63 mm

Nr. crt.	Denumirea incercarii	Rezultatul incercarii	U.M.	Conditii tehnice	
				Valoare	STAS(SR)
0	1	2	3	4	5
1	Coeficient de neuniformitate	85		min. 15	SR 662 / 2002
2	Uzura cu masina L.A.	29	%	max. 30	SR 662 / 2002
3	Curba granulometrica Treceri prin :				
	0.2 mm	9.8	%	4 -10	SR 662 / 2002
	1 mm	21.3	%	12 - 22	SR 662 / 2002
	4 mm	35.9	%	26 - 38	SR 662 / 2002
	8 mm	47.1	%	35 - 50	SR 662 / 2002
	16 mm	58.6	%	48 - 65	SR 662 / 2002
	25 mm	67.9	%	60 - 75	SR 662 / 2002
	50 mm	90.9	%	85 - 92	SR 662 / 2002
	63 mm	98.2	%	100	SR 662 / 2002
4	Densitatea in gramada in stare uscata, afanata	1618	kg/m^3		
5	Continut de fractiuni sub 0.02 mm	2.3	%	max. 3	Caiet sarcini
6	Echivalent de nisip	46	%	min. 30	SR 662-2002

Intocmit: tehn. Marioara MIFLOACA

Sef profil M.D., D.: tehn. Daniela PETRACHESCU

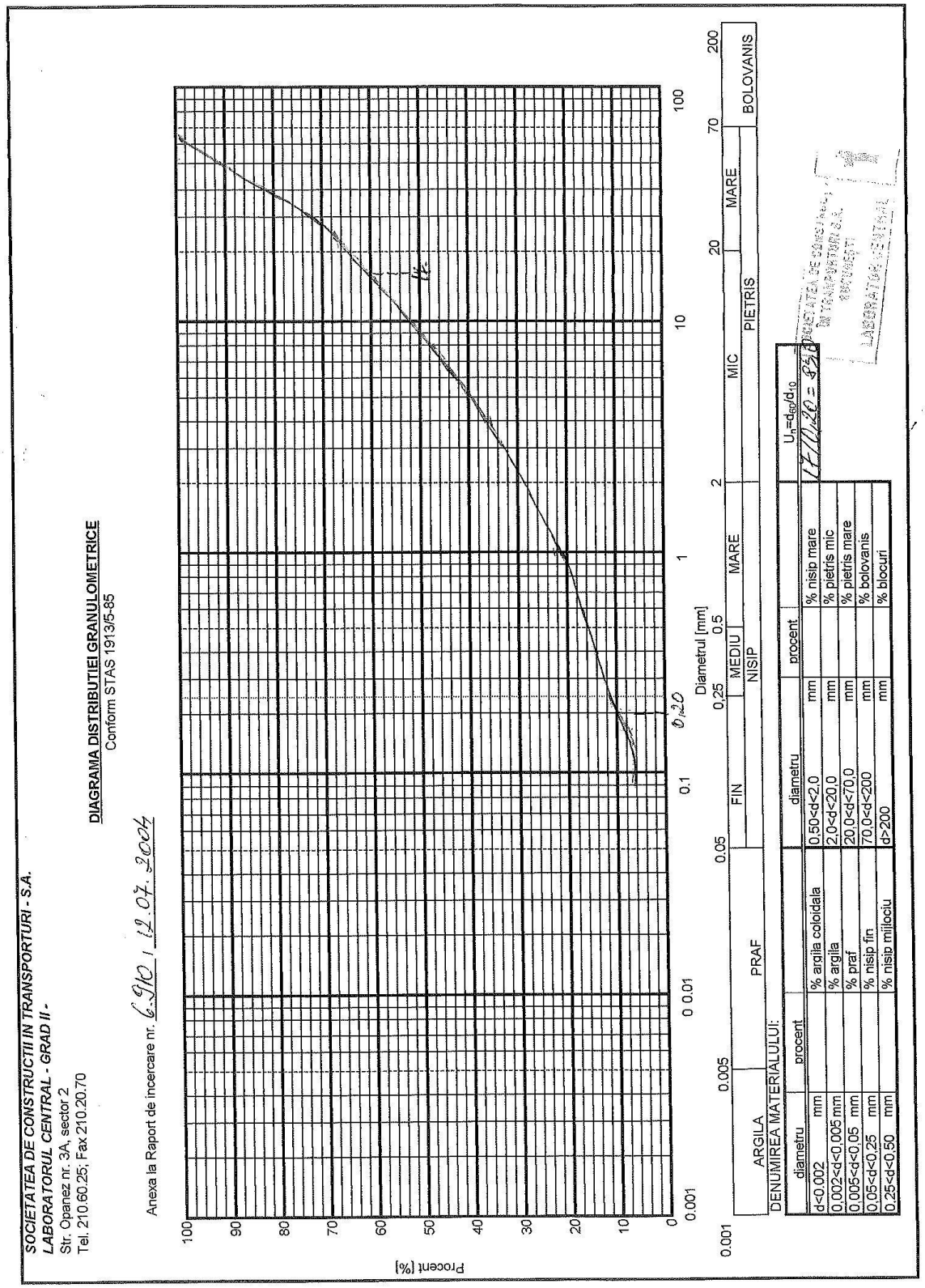
S.C. T.
COMPARTIMENT
A.Q.

Sef Compartiment AQ S.C.T.: ing. Mirela TANASESCU

Sef Laborator: ing. Gabriela ZMEU

Rezultatele R.I. Se refera numai la: AMESTEC OPTIMAL.
R.I. Nu se multiplica sau utilizeaza in alte scopuri fara aprobarea emitentului.

Ed. 2, Rev 0, Nr. ...


SOCIETATEA DE CONSTRUCTII IN TRANSPORTURI - S.A.
LABORATORUL CENTRAL - GRAD II -
Str. Opanez nr. 3A, sector 2
Tel. 210.60.25; Fax 210.20.70
DIAGRAMA DISTRIBUTIEI GRANULOMETRICE
Conform STAS 1913/5-85
Anexa la Raport de incercare nr. 6.910 / 12.07.2004
Procent [%]
Diametrul [mm]
ARGILA
PRAF
FIN
MEDIU
MARE
NISIP
MIC
PIETRIS
MARE
BOLOVANIS
DENUMIREA MATERIALULUI:
diametru
procent
d<0.002 mm
% argila coloidala
0.002<d<0.005 mm
% argila
0.005<d<0.05 mm
% praf
0.05<d<0.25 mm
% nisip fin
0.25<d<0.50 mm
% nisip mijlociu
0.50<d<2.0 mm
% nisip mare
2.0<d<20.0 mm
% pietris mic
20.0<d<70.0 mm
% pietris mare
70.0<d<200 mm
% bolovanis
d>200 mm
% blocuri
$U_n=d_{60}/d_{10}$

SOCIETATEA DE CONSTRUCTII IN TRANSPORTURI BUCURESTI S.A.
LABORATORUL CENTRAL-GRAD II-
Autoriz.nr. 02.8.2.0008 / 19.02.2003
str. Opanez nr. 3A, sect.2
Tel:210.60.25; Fax: 210 20 70

Cod document
FL-P6-04

RAPORT DE INCERCARE
DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE COMPACTARE
STAS 1913/13-75
Incercarea PROCTOR modificata
NR. 6.644 / 14.06.2004

Expeditor proba / Adresa: S.C.T. BUCURESTI S.A.
Lucrarea: Ranforsare sistem rutier centura Bucuresti, sect. DN2-A2, km 12+700-23+600
Document de transmitere a probei: P.V. nr. 7 / 11.06.2004; DMQI 510 / 14.06.2004
Tipul de agregate: **AMESTEC OPTIMAL-66% sort 25-63 mm + 33% sort 16-32 mm**
Sursa: **TIRGOVISTE**
SORT: 0-63 mm

I. Pregatirea materialului:
- cantitatea totala de material (md) = 100 kg r = 0.15

Caracteristici	U.M.	NUMARUL INCERCARII						
		1	2	3	4	5	6	7
sa cil. + material m_1	g	10545	10700	10820	10700	10560		
Masa cil. gol m_2	g	5260	5260	5260	5260	5260		
asa materialului m	g	5285	5440	5560	5440	5300		
Vol. mater. compactat V	cm^3	2208	2208	2208	2208	2208		
Greutatea volumica in stare nat. γ	g/cm^3	2.394	2.464	2.518	2.464	2.400		
iditatea medie w	%	7.6	9.9	11.5	13.6	15.1		
Greutatea volumica in stare usc., γd	g/cm^3	2.225	2.242	2.258	2.169	2.085		
Umiditatea medie cor. w'	%	6.5	8.4	8.8	11.6	12.8		
Greutatea volumica in stare usc. cor., γd max.	g/cm^3	2.279	2.295	2.310	2.230	2.154		

II. Caracteristici de compactare : γ d max.` = 2.310 g/cm^3
w` opt.= 9.8 %

Intocmit: tehn. Georgeta NEGUT

Sef profil: tehn. Daniela PETRACHESCU

Sef Compartiment AQ S.C.T.: ing. Mirela TANASESCU

S.C.T. COMPARTIMENT A.Q.

Sef Laborator: ing. Gabriela ZMEU

SOCIETATEA DE CONSTRUCTII IN TRANSPORTURI S.A. BUCURESTI LABORATOR CENTRAL

R.I. nu se multiplica sau utilizeaza in alte scopuri fara aprobarea mitentului.
Prezentul R.I. contine 1 file si 1 anexe.

CAIET DE SARCINI

STRAT DE FUNDATIE DIN ZGURA DE OTELARIE

1. SCOP 2
2. OBIECT SI DOMENIU DE ACTIVITATE 2
3. DOCUMENTE DE REFERINTA 2
4. DESCRIEREA LUCRARILOR 3
5. EXECUTIA LUCRARILOR 4
6. CONTROLUL CALITATII LUCRARILOR 5
7. CONTROLUL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EXECUTIE 6
8. URMARIREA IN TIMP A SECTORULUI EXPERIMENTAL 6

1. SCOP

Prezentul Caiet de Sarcini are ca scop inlocuirea solutiei de executie a stratului de fundatie din piatra sparta cu strat de fundatie din agregate din zgura de otelarie amestec optimal sort 0/63 mm

2. OBIECT SI DOMENIU DE ACTIVITATE

2.1. Caietul de sarcini cuprinde conditiile tehnice de calitate si de executie ale stratului de fundatie din agregate din zgura de otelarie amestec optimal sort 0/63 mm, realizat experimental la lucrarea " Ranforsare sistem rutier Centura Bucuresti sector DN 2 – A2 km 12+700-km 23+600" pe tronsonul cuprins intre km : 22+360-km 22+760.

Agregatele utilizate la realizarea tronsonului experimental sunt agregate din zgura de otelarie sorturile: 0-25 mm in proportie de 33% si 25-63 m in proportie de 66 %.

2.2. Agregatele din zgura de otelarie sunt furnizate de catre firma AMSI Romania fiind obtinute dupa recuperarea materialului feros din zgurile (deseurile) rezultate in urma procesului de obtinere a otelului in cuptoarele cu arc electric ale " Combinatului de Oteluri Speciale (COS) Targoviste"

Pentru agregatele din zgura de otelarie produse de firma AMSI Romania , Laboratorul INCERTRANS a elaborat Agrementul Tehnic nr. 004-07/666-2002. Sorturile de agregate care au stat la baza elaborarii Agrementului Tehnic au fost 0-25 mm, 40-63 mm si 63-90 mm .

Sorturile de agregate puse la dispozitie de catre firma producatoare pentru realizarea sectorului experimental sunt 0-25 mm si 25-63 mm

2.3. Conform Agrementului Tehnic nr. 004-07/666-2002 agregatele de zgura de otelarie se pot utiliza pentru drumuri de clasa tehnica II-V sau strazi de categoria tehnica II-IV, in scopul reducerii costurilor de executie prin posibilitatea inlocuirii balastului pentru stratul de fundatie si a balastului stabilizat pentru strat de baza.

2.4. ***In conformitate cu prevederile prezentului Caiet de Sarcini , amestecul obtinut din sorturile 0-25 mm – 33 % si 25-63 mm-66% din zgura de otelarie , se utilizeaza ca strat de fundatie*** astfel incat sa se inscrie in prevederile SR 662-2002 pct. 2.3.4.2. table 14 si fig. 2 pentru respectarea cerintelor privind granulometria (vezi actul CNADNR nr. 93/6340/31.05.2004)

3. DOCUMENTE DE REFERINTA

- Proiect Tehnic de executie
- Caiet de sarcini
- STAS 6400-84 – Lucrari de drumuri . Stratul de baza si de fundatie . Conditii tehnice generale de calitate
- STAS 2900-89 - Lucrari de drumuri . Latimea drumurilor
- STAS 863-85 - Lucrari de drumuri, Elemente geometrice ale trasarii . Prescriptii de proiectare

- STAS 4032/1-2001 - Lucrari de drumuri. Terminologie
- STAS 662-2002 - Lucrari de drumuri. Agregate naturale de balastiera . Conditii tehnice de calitate

4. DESCRIEREA LUCRARILOR

4.1. MATERIALE

Agregatele din zgura de otelarie care intra in alcatuirea stratului de fundatie sunt urmatoarele:

- sort 0-25 mm in proportie de 33 %
- sort 25-63 mm in proportie de 66 %

si au ca referential SR 662/2002 pct. 2.3.4..2 tabel 14 si fig. 2

Caracteristicile fizico mecanice obtinute pe sorturile de agregate din zgura de otelarie puse la dispozitie de firma AMSI Romania :

TABEĹ 1

Nr. Crt.	Denumirea incercarii	UM	REZULTATUL INCERCARII				Conditii tehnice SR 662/2002
			Laborator CESTRIN	RI Nr./ data	Laborator SCT	RI Nr./ data	
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	Compozitia granulometrica	%		41 .4/ 12 .0 7.		6. 91 0/ 12	
	0.63		1.5				
	0.125		6.5				
	0.25		11.2				4...10
	0.2				9.2		
	0.5		16.5				
	1.0		22.5		21.3		12...22
	4.0		36.4		35.9		26....38
	8.0		46.0		47.1		35...50
	16.0		58.6		58.6		48...65
	25.0		68.9		67.9		60...75
	31.5		71.6				
	40.0		80.3				
	50.0				90.9		85...92
	63.0		100		98.2		100
2.	Coeficient de neuniformitate (Um)		81		85		Min. 15
3.3	Continut de impuritati						Nu se admit Max. 2
	- corpuri straine						
	- continut de argila	%	1.1				
	- Carbune						
	-Humus(culoarea solutiei de NaOH)						
	- sulfati (calitativ)						
	- sulfati (exprimati in SO2)						
4.	Echivalentul de nisip	%	57		46		Min. 30
5.	Densitate in gramada in stare uscata, afanata	Kg/ mc			1618		
6.	Continut de fractiuni sub 0.02 mm	%			2.3		Max. 3

7.	Coeficient de activitate al nisipului de concasare	%	1.4				Max. 15
8.	Uzura cu masina LOS ANGELES	%	30.8		29		Min. 30
9.	Determinarea caracteristicilor de compactare - umiditate optima (W_{opt}) - densitate max. (J_{max})g/	 % g/mc^3	 9.3 2.33	41.1/15.06.04	9.8 2.310	6.644/14.06.04	
10.	Grad de compactare 10.1 km 22+180 stg. 10.2 km 22+300 ax 10.3 km 22+520 dr.	 % % %				 99.8 100 99.6	Min. 98

4.2. CONDITII TEHNICE

4.3.1.Latimea stratului de fundatie din agregat din zgura va respecta prevederile proiectului de executie pentru stratul de fundatie din amestec optimal de piatra sparta.
4.3.2.Pantele in profil transversal si declivitatile in profil longitudinal ale stratului de fundatie din agregate din zgura vor fi aceleasi cu cele cprevazute in proiectul de executie pe stratul de fundatie din piatra sparta.
4.3.3.Denivelarile admisibile in profil transversal ale stratului de fundatie din agregate din zgura sunt cu ±0.5 cm diferite de cele admisibile pentru imbracamintile sub care se executa
4.3.4.Denivelarile admise in profil longitudinal ale suprafetei stratului de fundatie din agregate din zgura sub dreptarul de 3 m sunt de max. 1.5 cm.
4.3.5.Grosimea stratului de fundatie din agregate din zgura va corespunde prevederilor proiectului de executie pentru strat de fundatie din piatra sparta (~30 cm).
4.3.6.Caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului optimal sort 0-63 mm din agregate din zgura pentru stratul de fundatie sunt cele prevazute in SR 662/2002 pct. 2.3.4.2 tabel 14 fig. 2.
4.3.7.Gradul de compactare se determina respectand prevederile STAS 1913/13-83
4.3.8.Determinarea capacitatii portante
4.3.9.Verificarea calitatii amestecului optimal din agregate din zgura si a executiei stratului de fundatie se va efectua de catre laboratorul constructorului si va fi monitorizata de reprezentantul beneficiarului in teren.

5. EXECUTIA LUCRARILOR

5.1. Prepararea amestecului optimal pentru stratul de fundatie din agregat din zgura de otelarie.

Obtinerea amestecului din sorturile de agregate din zgura de otelarie 0-25 mm si 25-63 mm trebuie sa respecte procentele indicate la cap. 2,I pct. 2.1 , respectiv:

TABELU L 2

SORT , mm	DOZAJ , %
0-25	33
25-63	66

NOTA

Dozajele mentionate in tabelul 2 corespund curbelor granulometrice prezentate in rapoartele de incercari anexate (nr. 1.4/12.07.2004- Laborator CESTRIN si nr. 6.910/12.07.2004 – Laborator SCT)

5.2.Amestecul realizat din sorturile de agregate din zgura si procentele mentionate in tabelul 2 pct 5 se realizeaza de catre firma AMSI Romania sub directa supraveghere a constructorului lucrarii.

5.3.Punerea in opera a amestecului obtinut pentru stratul de fundatie din agregat din zgura de otelarie.

5.3.1.Transportul materialului la locul de punere in opera se va efectua cu autobaculante de mare tonaj, care trebuie sa fie curatate inainte de incarcare.
5.3.2.Pregatirea stratului suport se va efectua in conformitate cu cerintele prevazute in caietul de sarcini pentru stratul de fundatie din piatra sparta
5.3.3.Asternerea amestecului din agregate din zgura de otelarie se realizeaza in acelasi mod ca si a agregatelor naturale clasice pentru drumuri . Se vor respecta conditile impuse in proiectul de executie pentru stratul de fundatie.
Caracteristicile optime de compactare vor fi determinate prin incercarea PROCTOR modificat.
5.3.4.Compactarea se executa imediat dupa asternere, cu utilaje adecvate, realizandu-se un grad de compactare pentru drumurile de clasa tehnica I, II, si III de minim 100 % din densitatea in stare uscata maxima determinata prin incercarea PROCTOR modificata conf. STAS 1913/13-1983, in cel putin 95 % din punctele masurate si min. 98 % in toate punctele masurate.

6. CONTROLUL CALITATII LUCRARILOR

Controlul calitatii lucrarilor de executie pentru stratul de fundatie din agregate din zgura se realizeaza astfel:
- controlul calitatii materialelor
- urmarirea procesului tehnologic de executie
- controlul stratului de fundatie realizat

6.1. Controlul calitatii materialelor
Amestecul optimal din agregate din zgura trebuie verificat conf. cap. 5 pct. 5.1 de catre un laborator autorizat si trebuie sa indeplineasca conditiile tehnice mentionate in tabelul 1 pct. 4.2.1.

6.2 Controlul calitatii materialului si a stratului realizat

In vederea terminarii lucrarilor se va verifica:
- compozitia amestecului optimal din agregate din zgura, inainte de compactare;
- gradul de compactare respectand prevederile STAS 1913/13-83
- verificarea planeitatii stratului obtinut

7. CONTROLUL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EXECUTIE

7.1. Inainte de inceperea lucrarilor se vor efectua urmatoarele verificari:
- verificarea tehnica privind functionarea malaxorului in care se realizeaza amestecul
- verificarea cantitatii de materiale necesare amestecului
- modul de pregatire al stratului support

7.2. Pe parcursul executiei stratului de fundatie din agregate din zgura, se vor efectua urmatoarele verificari:
- modul de respectare a dozajelor prevazute pentru amestec , astfel incat granulozitatea amestecului sa se inscrie in zona granulometrica prescrisa (SR 662/2002 pct. 2.3.4.2. tabelul 14 si fig. 2) si sa se realizeze gradul de compactare impus de caietul de sarcini
- efectuarea compactarii
- grosimea stratului

8. URMARIREA IN TIMP A SECTORULUI EXPERIMENTAL

Sectorul experimental va fi urmarit in timp de catre CESTRIN si Laboratorul SCT, prin observatii vizuale si masuratori de teren.

OBSERVATII
1. Prezentului caiet de sarcini i se anexeaza Rapoartele de incercari cu rezultatele obtinute de CESTRIN si Laboratorul SCT , acestea fiind incluse in prezenta documentatie.
2. S-a mai atasat acestui caiet de sarcini testul de lixiviere efectuat de Institutul de Tehnologie pentru constructii- Grupul de laboratoare de cercetare din Polonia

COMPANIA NATIONALA DE AUTOSTRAZI SI DRUMURI NATIONALE DIN ROMANIA
CONSILIUL TEHNICO – ECONOMIC
Nr.93/1983/15.07.2004

PRESEDINTE CTE
DIRECTOR GENERAL
Ing. Mihail BASULESCU

DOCUMENT DE AVIZARE

Denumirea lucrarii:	**"Ranforsare sistem rutier Centura Bucuresti Sector DN2 - A2 km 12+700 – km 23+600, executarea sectorului experimental - << strat de fundatie din agregate din zgura de otelarie >> intre km 22+360 - km 22+660"**
Faza:	DE – modificare solutie
Proiectant:	VIAPROIECT
Beneficiar:	DRDP Bucuresti

1. PREZENTARE GENERALA

Prezentul Caiet de Sarcini are ca scop inlocuirea solutiei de executie a stratului de fundatie din piatra sparta cu strat de fundatie din agregate din zgura de otelarie amestec optimal sort 0/63 mm

2. OBIECT SI DOMENIU DE ACTIVITATE

2.1.Caietul de sarcini cuprinde conditiile tehnice de calitate si de executie ale stratului de fundatie din agregate din zgura de otelarie amestec optimal sort 0/63 mm, realizat experimental la lucrarea ***"Ranforsare sistem rutier Centura Bucuresti sector DN 2 – A2 km 12+700 - km 23+600" pe tronsonul cuprins intre km : 22+360 - km 22+760.***

Agregatele utilizate la realizarea tronsonului experimental sunt agregate din zgura de otelarie sorturile: 0-25 mm in proportie de 33% si 25-63 m in proportie de 66 %.

2.2. Agregatele din zgura de otelarie sunt furnizate de catre firma AMSI Romania fiind obtinute dupa recuperarea materialului feros din zgurile (deseurile) rezultate in urma procesului de obtinere a otelului in cuptoarele cu arc electric ale '' Combinatului de Oteluri Speciale (COS) Targoviste''

Pentru agregatele din zgura de otelarie produse de firma AMSI Romania, Laboratorul INCERTRANS a elaborat Agrementul Tehnic nr. 004-07/666-2002. Sorturile de agregate care au stat la baza elaborarii Agrementului Tehnic au fost 0-25 mm, 40-63 mm si [illegible].

Sorturile de agregate puse la dispozitie de catre firma prod[illegible] pentru realizarea sectorului experimental sunt 0-25 mm si 25-63 mm

1

2.3. Conform Agrementului Tehnic nr. 004-07/666-2002 agregatele de zgura de otelarie se pot utiliza pentru drumuri de clasa tehnica II-V sau strazi de categoria tehnica II-IV, in scopul reducerii costurilor de executie prin posibilitatea inlocuirii balastului pentru stratul de fundatie si a balastului stabilizat pentru strat de baza.

*2.4. **In conformitate cu prevederile prezentului Caiet de Sarcini , amestecul obtinut din sorturile 0-25 mm – 33 % si 25-63 mm-66% din zgura de otelarie , se utilizeaza ca strat de fundatie** astfel incat sa se inscrie in prevederile SR 662-2002 pct. 2.3.4.2. table 14 si fig. 2 pentru respectarea cerintelor privind granulometria (vezi actul CNADNR nr. 93/6340/31.05.2004)*

2.5. Prin utilizarea amestecului optimal sort 0-63 mm din agregate din zgura din otelarie ca varianta alternativa la executia stratului de fundatie ***se obtine o reducere a pretului lucrarii cu 1.97 EUR/ mc.***

- strat de fundatie din piatra sparta 30 cm grosime 1237685 lei/ mc (~30.70 EUR)
- strat de fundatie din agregate din zgura 30 cm grosime 1158440 lei/ mc (~28.73 EUR)

3. DOCUMENTE DE REFERINTA

Proiect Tehnic de executie

Caiet de sarcini

STAS 6400-84	- Lucrari de drumuri . Stratul de baza si de fundatie . Conditii tehnice generale de calitate
STAS 2900-89	- Lucrari de drumuri . Latimea drumurilor
STAS 863-85	- Lucrari de drumuri, Elemente geometrice ale trasarii . Prescriptii de proiectare
STAS 4032/1-2001	- Lucrari de drumuri. Terminologie
STAS 662-2002	- Lucrari de drumuri. Agregate naturale de balastiera . Conditii tehnice de calitate

4. DESCRIEREA LUCRARILOR

4.1.Pentru executarea sectorului experimental , sorturile de agregate din zgura de otalarie 0-25 mm –33 % si 25-63 mm – 66 %, au fost puse la dispozitia Laboratorului de drumuri CESTRIN si a Laboratorului gr. II Central SCT, care au analizat in paralel pe esantioane de proba recoltate din lucrare, realizarea amestecului optimal de agregate din zgura de otelarie, calitatea si executia sectorului experimental in conformitate cu certintele caietului de sarcini al lucrarii si a standardelor specificate la capitolul 3'' DOCUMENTE DE REFERINTA''

4.2. **MATERIALE**

Agregatele din zgura de otelarie care intra in alcatuirea stratului de fundatie vor fi urmatoarele:

- sort 0-25 mm in proportie de 33 %
- sort 25-63 mm in proportie de 66 %

si au ca referential SR 662/2002 pct. 2.3.4..2 tabel 14 si fig. 2

Caracteristicile fizico mecanice obtinute pe sorturile de agregate din zgura de otelarie puse la dispozitie de firma AMSI Romania :

TABEL 1

Nr. Crt.	Denumirea incercarii	UM	REZULTATUL INCERCARII				Conditii tehnice SR 662/2002
			Laborator CESTRIN	RI Nr./ data	Laborator SCT	RI Nr./ data	
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	Compozitia granulometrica	%		41.4/12.07.2004		6.910/12.07.2004	
	0.63		1.5				
	0.125		6.5				
	0.25		11.2				4...10
	0.2				9.2		
	0.5		16.5				
	1.0		22.5		21.3		12...22
	4.0		36.4		35.9		26....38
	8.0		46.0		47.1		35...50
	16.0		58.6		58.6		48...65
	25.0		68.9		67.9		60...75
	31.5		71.6				
	40.0		80.3				
	50.0				90.9		85...92
	63.0		100		98.2		100
2.	Coeficient de neuniformitate (Um)		81		85		Min. 15
3.3	Continut de impuritati						Nu se admit
	- corpuri straine						Max. 2
	- continut de argila	%	1.1				
	- Carbune						
	-Humus(culoarea solutiei de NaOH)						
	- sulfati (calitativ)						
	- sulfati (exprimati in SO2)						
4.	Echivalentul de nisip	%	57		46		Min. 30
5.	Densitate in gramada in stare uscata, afanata	Kg/ mc			1618		
6.	Continut de fractiuni sub 0.02 mm	%			2.3		Max. 3
7.	Coeficient de activitate al nisipului de concasare	%	1.4				Max. 15
8.	Uzura cu masina LOS ANGELES	%	30.8		29		Min. 30
9.	Determinarea caracteristicilor de compactare - umiditate optima (W_{opt})	%	9.3	41.1 15. 06. 04	9.8	6.644/14 .06.04	

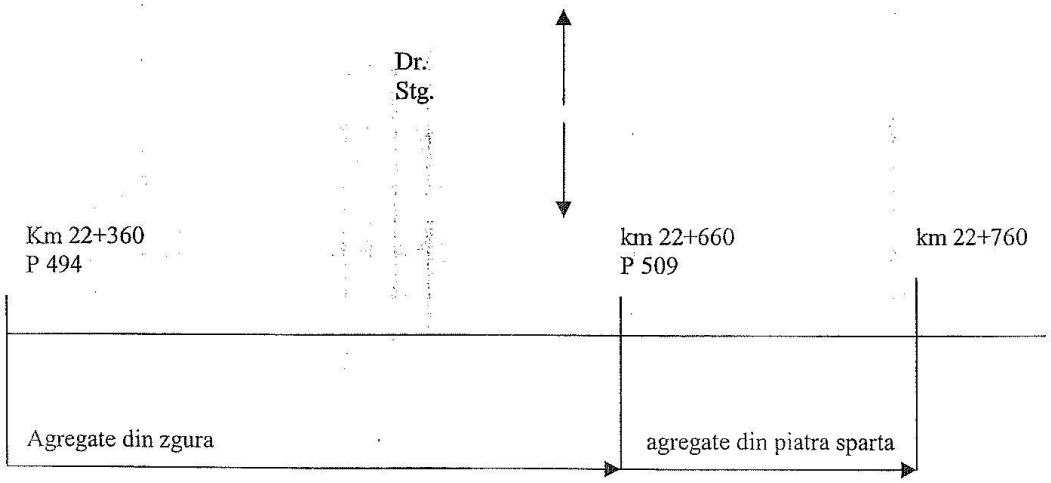
3

	- densitate max. ($J_{max)g/}$	g/mc^3	2.33		2.310		
10.	Grad de compactare 10.1 km 22+180 stg. 10.2 km 22+300 ax 10.3 km 22+520 dr.	 % % % % 				 99.8 100 99.6	Min. 98

4.2.2 Verificarea sectorului experimental s-a continuat prin calculul modulului de elasticitate (masuratori efectuate de CESTRIN- DYNATEST) , determinadu-se capacitatea portanta realizata pe tronsoanele:

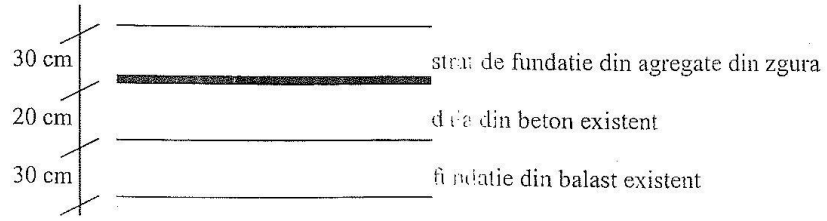
- km: 22+360 - km 22+660 - zgura amestec optimal
- km 22+660 - km 22+760 - piatra sparta amestec optimal

Masuratorile s-au efectuat din 50 in 50 m atat pe stratul de fundatie din agregate din zgura de otelarie (sector experimental)cat si pe stratul de fundatie din piatra sparta (sector martor) , pe ambele sensuri de circulatie, situatia terenului fiind urmatoarea:



Compozitia sistemului rutier :

- pe zona km 22+360-22+470 stg. +dr.



- pe zona km 22+470-22+535 ax stg (s-a inlaturat dala de beton)

30 cm	strat de fundatie din agregate din zgura
20 cm	amestec optimal zgura
30 cm	amestec optimal zgura

- pe zona km 22+660-22+697

30 cm	strat de fundatie din piatra sparta
20 cm	dala din beton existent
30 cm	fundatie din balast existent

- pe zona km 22+660-22+697 –22+715 ax dr.

30 cm	strat de fundatie din piatra sparta
20 cm	amestec optimal zgura
30 cm	balast sort 0-63 mm

Din masuratorile efectuate de CESTRIN (conf. adresei nr. 3018/12.07.04) reiese ca modulul de elasticitate dinamic rezultat pe fundatia din agregat din zgura de otelarie are valori caracteristice mai mari decat modulul de elasticitate dinamic rezultat pe fundatia din amestec optimal de piatra sparta.

4.3.**CONDITII TEHNICE CARE VOR TREBUI RESPECTATE**

4.3.1.Latimea stratului de fundatie din agregat din zgura va respecta prevederile proiectului de executie pentru stratul de fundatie din amestec optimal de piatra sparta.

4.3.2.Pantele in profil transversal si declivitatile in profil longitudinal ale stratului de fundatie din agregate din zgura vor fi aceleasi cu cele prevazute in proiectul de executie pe stratul de fundatie din piatra sparta.

4.3.3.Denivelarile admisibile in profil transversal ale stratului de fundatie din agregate din zgura vor fi cu ±0.5 cm diferite de cele admisibile pentru imbracamintile sub care se executa

4.3.4.Denivelarile admise in profil longitudinal ale suprafetei stratului de fundatie din agregate din zgura sub dreptarul de 3 m vor fi de max. ± 5 cm

4.3.5.Grosimea stratului de fundatie din agregate din zgura va corespunde prevederilor proiectului de executie pentru strat de fundatie din piatra sparta (~30 cm).

4.3.6.Caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului optimal sort 0-63 mm din agregate din zgura pentru stratul de fundatie vor fi cele prevazute in SR 662/2002 pct. 2.3.4.2 tabel 14 fig. 2.

4.3.7.Gradul de compactare se determina respectand prevederile STAS 1913/13-83

4.3.8.Determinarea capacitatii portante

4.3.9.Verificarea calitatii amestecului optimal din agregate din zgura si a executiei stratului de fundatie se va efectua de catre laboratorul constructorului si va fi monitorizata de reprezentantul beneficiarului in teren.

5. EXECUTIA LUCRARILOR

Prepararea amestecului optimal pentru stratul de fundatie din agregat din zgura de otelarie.

Obtinerea amestecului din sorturile de agregate din zgura de otelarie 0-25 mm si 25-63 mm trebuie sa respecte procentele indicate la cap. 2,1 pct. 2.1 , respectiv:

TABELUL 2

SORT (mm)	DOZAJ (%)
0 - 25	33
25 - 63	66

NOTA

Dozajele mentionate in tabelul 2 vor corespunde curbelor granulometrice prezentate in rapoartele de incercari anexate (nr. 1.4/12.07.2004 - Laborator CESTRIN si nr. 6.910/12.07.2004 – Laborator SCT).

5.2.Amestecul realizat din sorturile de agregate din zgura si procentele mentionate in tabelul 2 pct 5 vor fi realizate de catre firma AMSI Romania sub directa supraveghere a constructorului lucrarii.

5.3.Punerea in opera a amestecului obtinut pentru stratul de fundatie din agregat din zgura de otelarie.

5.3.1.Transportul materialului la locul de punere in opera se va efectua cu autobaculante de mare tonaj, care trebuie sa fie curatate inainte de incarcare.

5.3.2.Pregatirea stratului suport se va efectua in conformitate cu cerintele prevazute in caietul de sarcini pentru stratul de fundatie din piatra sparta

5.3.3.Asternerea amestecului din agregate din zgura de otelarie se va realizeaza in acelasi mod ca si a agregatelor naturale clasice pentru drumuri. Se vor respecta conditile impuse in proiectul de executie pentru stratul de fundatie.

Caracteristicile optime de compactare vor fi determinate prin incercarea PROCTOR modificat.

5.3.4.Compactarea se va executa imediat dupa asternere, cu utilaje adecvate, realizandu-se un grad de compactare pentru drumurile de clasa tehnica I, II, si III de minim 100 % din densitatea in stare uscata maxima determinata prin incercarea PROCTOR modificata conf. STAS 1913/13-1983, in cel putin 95 % din punctele masurate si min. 98 % in toate punctele masurate.

6.CONTROLUL CALITATII LUCRARILOR

Controlul calitatii lucrarilor de executie pentru stratul de fundatie din agregate din zgura se realizeaza astfel:

- controlul calitatii materialelor
- urmarirea procesului tehnologic de executie
- controlul stratului de fundatie realizat

6.1. Controlul calitatii materialelor

Amestecul optimal din agregate din zgura trebuie verificat conf. cap. 5 pct. 5.1 de catre un laborator autorizat si trebuie sa indeplineasca conditiile tehnice mentionate in tabelul 1 pct. 4.2.1.

6.2 Controlul calitatii materialului si a stratului realizat
In vederea terminarii lucrarilor se va verifica:
compozitia amestecului optimal din agregate din zgura, inainte de compactare;
gradul de compactare respectand prevederile STAS 1913/13-83
verificarea planeitatii stratului obtinut

7. CONTROLUL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EXECUTIE

7.1. Inainte de inceperea lucrarilor se vor efectua urmatoarele verificari:

- verificarea tehnica privind functionarea malaxorului in care se realizeaza amestecul
- verificarea cantitatii de materiale necesare amestecului
- modul de pregatire al stratului support

7.2. Pe parcursul executiei stratului de fundatie din agregate din zgura, se vor efectua urmatoarele verificari:

- modul de respectare a dozajelor prevazute pentru amestec , astfel incat granulozitatea amestecului sa se inscrie in zona granulometrica prescrisa (SR 662/2002 pct. 2.3.4.2 tabelul 14 si fig. 2) si sa se realizeze gradul de compactare impus de caietul de sarcini
- efectuarea compactarii
- grosimea stratului

8. URMARIREA IN TIMP A SECTORULUI EXPERIMENTAL

Sectorul experimental va fi urmarit in timp de catre CESTRIN si Laboratorul SCT, prin observatii vizuale si masuratori de teren.

OBSERVATIILE IN TIMP A SECTORULUI EXPERIMENTAL

Prezentului caiet de sarcini i se anexeaza Rapoartele de incercari cu rezultatele obtinute de CESTRIN si Laboratorul SCT , acestea fiind incluse in prezenta documentatie.

La caietul de sarcini testul de lixiviere efectuat de Institutul de Tehnologie pentru Constructii Grupul de laboratoare de cercetare din Polonia

In urma analizarii documentatiei prezentate, Consiliul Tenico – Economic al C.N.A.D.N.R.,

AVIZEAZA FAVORABIL

realizarea sectorului experimental pentru executia sectorului experimental: << **strat de fundatie din agregate din zgura de otelarie** >> **intre km 22+360 - km 22+660** din proiectul **"Ranforsare sistem rutier Centura Bucuresti Sector DN2 - A2, km 12+700 – km 23+600"** cu urmatoarele precizari:

1. evaluarea caracteristicilor fizico – mecanice ale agregatelor utilizate conform reglementarilor tehnice si determinarea prin masuratori a capacitatii portante si a gradului de compactare;
2. rezultatele obtinute pe acest sector experimental vor permite extinderea aplicarii si pe alte sectoare.

DIRECTOR D.I.D.N.
Ing. Marin IONESCU

SECRETARIAT C.T.E.
DIRECTOR D.I.R.I.D.N.
Ing. Petre DUMITRU

Anexa 7 Caracteristicile fizico-mecanice ale sorturilor de agregate din zgură de oţelărie: granulozitatea, coeficientul de neuniformitate, echivalentul de nisip, uzura Los Angeles, rezistenţa la îngheţ - dezgheţ și rezistenţa la strivire în stare uscată

Pentru încercările Los Angeles şi îngheţ - dezgheţ, sortul 8 - 32 mm a fost divizat în subsorturile 8 –16 mm şi 16 – 25 mm, iar rezultatele încercărilor sunt media aritmetică între cele două subsorturi. Valorile admisibile pentru rezistenţa la îngheţ - dezgheţ sunt preluate din AT 004-7/666-2002.

Compoziţia şi caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului pentru stratul de fundaţie.

Compoziţia amestecului realizat din sorturile 0 - 8 mm, 8 - 32 mm și 32 - 63 mm, pentru stratul de fundaţie format din zgură de oțelărie trebuie să fie continuă şi să se încadreze în limitele prezentate în Tabelul A 7.1.

Tabelul A 7.1. Condiţii de admisibilitate ale amestecului pentru strat de fundaţie (sort 0-63)

Conţinut de fracţiuni, mm	Condiţii de admisibilitate, %
0 – 0,02	max 3
0 – 0,2	3 - 18
0 – 1	4 - 38
0 – 4	16 - 57
0 – 8	25 - 70
0 – 16	37 - 82
0 – 25	50 – 90
0 – 50	80 - 98
0 – 63	100

Compoziţia şi caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului pentru stratul de bază

Compoziţia amestecului din sorturile 0 - 8 mm și 8 - 32 mm, pentru stratul de bază format din zgură de oțelărie trebuie să fie continuă şi să se încadreze în limitele din Tabelul A 7.2.

Tabelul A 7.2. Condiţii de admisibilitate ale amestecului pentru stratul de bază (sort 0-25)

Conţinut de fracţiuni, mm	Condiţii de admisibilitate, %
0 – 0.1	6 - 11
0 – 1	18 - 34
0 – 4	33 - 60
0 – 8	50 - 75
0 – 16	74 – 93
0 – 25	90 - 100

Condițiile de admisibilitate pentru caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului realizat pentru stratul de fundație (granulozitatea, coeficientul de neuniformitate, echivalentul de nisip și uzura cu maşina Los Angeles) sunt prezentate în Tabelul A 7.3.

Tabelul A 7.3. Condițiile de admisibilitate ale amestecului pentru stratul de fundaţie

Nr. crt.	Caracteristica	Condiţii de admisibilitate, %
1	Granulozitate	Continuă
2	Coeficient de neuniformitate (U_n)	min. 15
3	Echivalent de nisip (EN)	min. 30
4	Uzura cu maşina Los Angeles (LA)	max. 50

Condițiile de admisibilitate pentru caracteristicile fizico-mecanice ale amestecului pentru stratul de bază (granulozitatea, coeficientul de neuniformitate, echivalentul de nisip și uzura cu maşina Los Angeles) sunt prezentate în Tabelul A 7.4.

Tabelul A 7.4. Condițiile de admisibilitate ale amestecului pentru stratul de bază

Nr. crt.	Caracteristica	Condiţii de admisibilitate, %
1	Granulozitate	Continuă
2	Coeficient de neuniformitate, U_n	min. 8
3	Echivalent de nisip, EN	min. 30
4	Uzura cu maşina Los Angeles, LA	max. 35

Amestecurile realizate din sorturile de agregate de oţelărie 0-8 mm, 8-32 mm și 32-63 mm trebuie să respecte procentele indicate în Tabelul A 7.5. pentru stratul de fundaţie şi în Tabelul A 7.6. pentru stratul de bază (din 100 % agregat).

Tabelul A 7.5. Procente strat fundaţie

Sort, mm	Dozaj, %
0 - 8	47
8 - 32	33
32 - 63	20

Tabelul A 7.6. Procente strat de bază

Sort, mm	Dozaj, %
0 - 8	64
8 - 32	36

În continuare, au fost deteminate caracteristicile zgurii de oţelărie sort 0 - 8 mm (compoziţia granulometrică, coeficientul de neuniformitate, conţinutul de granule, conţinutul de impurităţi și echivalentul de nisip). Rezultatele sunt prezentate în Tabelul A 7.7. (conform STAS 730 -89 şi STAS 4606 -80).

Tabelul A 7.7. Caracteristicile zgurii de oţelărie sort 0 - 8 mm

Nr. crt.	Caracteristica	Valori	
1	Compoziţia granulometrică	⌀ ciur/sită, mm	Treceri, %
		16,0	100
		8,0	94,0
		4,0	77,6
		1,0	45,8
		0,5	33,7
		0,25	21,5
		0,125	12,1
		0,063	3,0
		Valori obţinute	Admise SR 662
2	Coeficient de neuniformitate, U_n	15,0	min. 8
3	Conţinutul de granule care:		
	rămân pe ciurul de 8 mm, %	6,0	max. 5
	trec prin ciurul de 0.1 mm, %	-	nu se specifică
	sunt mai mici de 0.02 mm, %	-	-
4	Conţinutul de impurităţi:		
	corpuri străine, %	-	nu se admit
	mică liberă, %	-	-
	părţi levigabile, %	-	max. 2
	humus (culoarea soluției de NaOH)	-	incoloră / galbenă
	sulfaţi (calitativ)	-	-
	cărbune, %	-	-
	fracţiuni sub 0.1 mm, %	-	-
	fracţiuni sub 0.2 mm, %	-	-
5	Echivalentul de nisip (EN), %	74,6	min. 50

Determinarea echivalentului de nisip (conform STAS 730 -89)

A fost determinat echivalentul de nisip folosind trei probe, valoarea finală fiind media valorilor parțiale. Se observă că aceasta respectă condiția impusă de SR 662 – 2002 (min. 50):

		Proba 1	**Proba 2**	**Proba 3**
nivelul superior al suspensiei de argilă	h_1 =	121 mm	116 mm	121 mm
nivelul superior al nisipului	h_2 =	90 mm	88 mm	89 mm
echivalentul de nisip	EN =	74,4 %	75,9 %	73,6 %
Valoarea finală (medie)	**EN =**	**74,6 %**		

În continuare, a fost determinată granulozitatea, conform STAS 730-89. S-au folosit două probe, având masele de 1000,0 g. Rezultatele reprezintă media valorilor determinate pentru fiecare dintre cele două probe și sunt prezentate în Tabelul A 7.8.

Tabelul A 7.8. Determinarea granulozităţii zgurii de oţelărie sort 0 - 8 mm

Proba 1					**Proba 2**				
m_{totala} = 1000.0 g					m_{totala} = 1000.0 g				
⌀ sită	rest		treceri		⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%	mm	g	%	g	%
25	0,0	0,0	1000	100	25	0,0	0,0	1000	100
16	0,0	0,0	1000	100	16	0,0	0,0	1000	100
8	60,2	6,0	939,8	94,0	8	59,4	5,9	940,6	94,1
4	164,6	22,5	775,2	77,5	4	164,6	22,4	776,0	77,6
1	318,7	54,4	456,5	45,7	1	317,2	54,1	458,8	45,9
0.5	119,7	66,3	336,8	33,7	0,5	121,0	66,2	337,8	33,8
0.25	127,2	79,0	209,6	21,0	0,25	117,2	77,9	220,6	22,1
0.125	90,0	88,0	119,6	12,0	0,125	98,2	87,8	122,4	12,2
0.063	90,4	97,1	29,2	2,9	0,063	91,7	96,9	30,7	3,1
talger	29,2	100	0,0	0,0	talger	30,7	100	0,0	0,0

Tabelul A 7.8. (continuare)

Valori medii				
m_{totala} = 1000.0				
⌀ ciur/sită, mm	Rest, g/%		Treceri, g/%	
25	0,0	0,0	1000	100
16	0,0	0,0	1000	100
8	59,8	6,0	940,2	94,0
4	164,6	22,4	775,6	77,6
1	318,0	54,2	457,7	45,8
0.5	120,4	66,3	337,3	33,7
0.25	122,2	78,5	215,1	21,5
0.125	94,1	87,9	121,0	12,1
0.063	91,1	97,0	29,9	3,0
talger	30,0	100	0,0	0,0

De asemenea, au fost determinate caracteristicile zgurii de oţelărie sort 8-32 mm si 32-63 mm (compoziţia granulometrică, forma granulelor, conţinutul de impurităţi, uzura la maşina Los Angeles și rezistenţa la îngheţ - dezgheţ). Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul A 7.9.

Tabelul A 7.9. Caracteristicile zgurii de oţelărie sort 8-32 mm si 32-63 mm

Nr. crt.	Caracteristica		Valori	
1	Sortul		8-32 mm	32-63 mm
2	Compoziţia granulometrică	⌀ sită, mm	Treceri, %	
		63	100,0	100,0
		31,5	100,0	2,7
		25	86,5	1,5
		16	44,9	0,9
		8	1,8	0,5
		4	1,2	0,4
		1	0,8	0,3
		0,5	0,8	0,2
		0,25	0,7	0,2
		0,125	0,4	0,1
		0,063	0,1	0,1

		Valori obţinute		Admise SR 662 - 2002	
		8-32 mm	32-63 mm	8-32 mm	32-63 mm
2.1	Continutul de granule care: - rămân pe ciurul superior, %	0,0	0,0	max. 5	max 5
	- trec pe ciurul inferior, %	1,8	2,7	max. 10	max. 10
3	Forma granulelor: - granule cu forma plată (G_P), %	-	-	-	-
	- granule cu formă aciculară (G_A), %	-	-	-	-
	- coeficient de formă (C_F), %	-	-	max. 25	max. 25
4	Conţinutul de impurităţi: - conţinut de corpuri străine (P_{CS}), %	-	-	nu se admit	
	- conţinut de fracţiuni sub 0.1 mm ($P_{0.1}$), %	-	-	max. 1,5	max. 1,0
	- conţinut de argilă (VA), %	-	-	2	2

		Valori obţinute			Admise SR 662		
		8-16 mm	16-25 mm	32-63 mm	8-16 mm	16-25 mm	32-63 mm
5	Uzura la maşina Los Angeles (LA) [%]	24,9	27,8	27,8	max. 30	max. 30	max. 30
6	Rezistenţa la îngheţ – dezgheţ: - coeficient de gelivitate (μ_{25}), %	-	-	-	max. 3	max. 3	-
	- sensibilitatea la îngheţ – dezgheţ ($\eta_{g1.25}$), %	-	-	-	max. 25	max. 25	-
	- rezistenţa la acţiunea repetată Na_2SO_4 P_m, 5%	-	-	-	max. 3	max. 3	-

Anexa 7 (continuare)

Din tabelul anterior se remarcă faptul că valorile obținute pentru caracteristicile celor două sorturi de zgură de oțelărie întrunesc în totalitate condițiile impuse de SR 662 - 2002, ceea ce confirmă faptul că aceste agregate artificiale pot fi utilizate cu succes în structurile rutiere.

În continuare, a fost determinată granulozitatea pentru diferitele sorturi. Mai întâi, a fost determinată granulozitatea pentru sortul 8-32 mm, rezultatele fiind prezentate în Tabelul A 7.10. (conform STAS 730-89).

Tabelul A 7.10. Determinarea granulozităţii pentru sortul 8-32 mm

Proba 1					**Proba 2**				
$m_{totală}$ = 2500,6 g					$m_{totală}$ = 2500,3 g				
⌀ sită	rest		treceri		⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%	mm	g	%	g	%
63	0,0	0.0	2500.6	100	63	0.0	0.0	2500.3	100
31.5	0,,0	0,0	2500,6	100	31,5	0,0	0,0	2500,3	100
25	315,8	12,6	2184,8	87,4	25	357,8	14,3	2142,5	85,7
16	978,3	51,8	1206,5	48,2	16	1101,4	58,4	1041,1	41,6
8	1169,8	98,5	36,7	1,5	8	988	97,9	53,1	2,1
4	15,0	99,1	21,7	0,9	4	15,6	98,5	37,5	1,5
1	2,0	99,2	19,7	0,8	1	15,6	99,1	21,9	0,9
0.5	1,8	99,3	17,9	0,7	0,5	2,1	99,2	19,8	0,8
0.25	2,0	99,4	15,9	0,6	0,25	1,3	99,2	19,8	0,8
0.125	3,7	99,5	12,2	0,5	0,125	9,6	99,6	10,2	0,4
0.063	6,7	99,8	5,5	0,2	0,063	8,2	99,9	2,0	0,1
talger	5,5	100	0,0	0,0	talger	2,0	100	0,0	0,0

Tabelul A 7.10. (continuare)

Valori medii				
$m_{totală}$ = 2500,5 g				
⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%
63	0,0	0,0	2500,5	100
31,5	0,0	0,0	2500,5	100
25	336,8	13,5	2163,7	86,5
16	1039,9	55,1	1123,8	44,9
8	1078,9	98,2	44,9	1,8
4	15,3	98,8	29,6	1,2
1	8,8	99,2	20,8	0,8
0,5	2,0	99,2	18,9	0,8
0,25	1,0	99,3	17,9	0,7
0,125	6,7	99,6	11,2	0,4
0,063	7,5	99,9	3,8	0,1
talger	3,8	100	0,0	0,0

Determinarea uzurii cu maşina tip Los Angeles (conform STAS 730-89)

Anexa 7 (continuare)

Pentru determinarea uzurii Los Angeles s-au folosit câte două probe pentru fiecare dintre sorturi, valoarea finală fiind media aritmetică a valorilor parțiale:

SORTUL 8-16

PROBA 1	**PROBA 2**
masa iniţială a probei m_1 = 5000,0 g	masa iniţială a probei m_1 = 5000,0 g
masa restului pe ciurul de 1,60 P	masa restului pe ciurul de 1,60 P
după spălare şi uscare m_2 = 3719,3 g	după spălare şi uscare m_2 = 3794,1 g
coeficientul Los Angeles LA = 25,6 %	**coeficientul Los Angeles LA = 24,1 %**
Valoare finală (medie) LA = 24,9 %	maxim admis = 30 %

SORTUL 16-25

PROBA 1	**PROBA 2**
masa iniţială a probei m_1 = 5000,0 g	masa iniţială a probei m_1 = 5000,0 g
masa restului pe ciurul de 1,60 P	masa restului pe ciurul de 1,60 P
după spălare şi uscare m_2 = 3644,7 g	după spălare şi uscare m_2 = 3570,9 g
coeficientul Los Angeles LA = 27,1 %	**coeficientul Los Angeles LA = 28,6 %**
Valoare finală (medie) LA = 27,8%	maxim admis = 30 %

SORTUL 32-63

PROBA 1	**PROBA 2**
masa iniţială a probei m_1 = 10000,6 g	masa iniţială a probei m_1 = 10000,6 g
masa restului pe ciurul de 1,60 P	masa restului pe ciurul de 1,60 P
după spălare şi uscare m_2 = 7123,5 g	după spălare şi uscare m_2 = 7313,4 g
coeficientul Los Angeles LA = 28,77 %	**coeficientul Los Angeles LA = 26,89 %**
Valoare finală (medie) LA = 27,8 %	maxim admis = 30 %

Se constată faptul că valorile obținute ale coeficientului Los Angeles (24,9 % și 27,8 %) sunt mai mici decât maximul admis de SR 662 - 2002 (30 %). În consecință, agregatele artificiale analizate (zguri de oțelărie) pot substitui cu succes agregatele naturale utilizate la realizarea straturilor rutiere.

Calculul reţetei pentru stratul de fundaţie este prezentat în Tabelul A 7.11.

Tabelul A 7.11. Calculul reţetei pentru stratul de fundaţie

Dimensiune sită, mm	**Treceri, %**		
	0-8 mm	8-32 mm	32-63 mm
63	100,0	100,0	100,0
31.5	100,0	100,0	2,7
25	100,0	86,5	1,5
16	100,0	44,9	0,9
8	94,0	1,8	0,5
4	77,6	1,2	0,4
1	45,8	0,8	0,3
0.5	33,7	0,8	0,2
0.25	21,5	0,7	0,2
0.125	12,1	0,4	0,1
0.063	3,0	0,1	0,1

Dozajul proiectat pentru stratul de fundaţie este prezentat în Tabelul A 7.12.

Tabelul A 7.12. Dozajul proiectat pentru stratul de fundație

	Tipul / sortul agregatelor			TOTAL
	0-8 mm	8-32 mm	32-63 mm	
Dozaj proiectat	47	33	20	100

Din Tabelul A 7.13 reiese faptul că granulometria rezultată pentru stratul de fundaţie realizat cu zgură de oțelărie se încadrează în limitele prevăzute de SR 662/2002 (80,5 este situat între 60,0 și 93,0 etc.):

Tabelul A 7.13. Granulometria rezultată pentru stratul de fundaţie

Domeniul limita conform SR 662/2002

Dimensiune sită, mm	**Resturi, %**	**Dimensiune** sită, mm	**Treceri,** %	**Dimensiune** sită, mm	**Treceri, %**	
					Minim	Maxim
63	0,0	63	100,0	63	100,0	100,0
31.5	19,5	31,5	80,5	31,5	60,0	93,0
25	24,2	25	75,8	25	50,0	90,0
16	38,0	16	62,0	16	37,0	82,0
8	55,1	8	44,9	8	25,0	70,0
4	63,1	4	36,9	4	16,0	57,0
1	78,2	1	21,9	1	4,0	38,0
0.5	83,9	0,5	16,1	0,5	3,5	29,0
0.25	89,6	0,25	10,4	0,25	3,0	20,0
0.125	94,2	0,125	5,8	0,125	3,0	13,0
0.063	98,5	0,063	1,5	0,063	1,0	3,0

Calculul reţetei pentru stratul de bază este prezentat în Tabelul A 7.14

Tabelul A 7.14. Calculul reţetei pentru stratul de bază

Dimensiune sită, mm	**Treceri, %**	
	0-8	8-32
63	100,0	100,0
31.5	100,0	100,0
25	100,0	86,5
16	100,0	44,9
8	94,0	1,8
4	77,6	1,2
1	45,8	0,8
0.5	33,7	0,8
0.25	21,5	0,7
0.125	12,1	0,4
0.063	3,0	0,1

Dozajul proiectat pentru stratul de bază este prezentat în Tabelul A 7.15:

Tabelul A 7.15. Dozajul proiectat pentru stratul de bază

	Tipul/sortul agregatelor		TOTAL
	0-8 mm	8-32 mm	
Dozaj proiectat	47 %	33 %	100 %

Din Tabelul A 7.16 reiese faptul că granulometria rezultată pentru stratul de bază realizat cu zgură de oțelărie se încadrează în limitele prevăzute de SR 662/2002 (95,1 este situat între 90,0 și 100,0 etc.):

Tabelul A 7.16. Granulometria rezultată pentru stratul de bază

Domeniul limita conform SR 662/2002

Dimensiune sită, mm	**Resturi**	**Dimensiune** sită, mm	**Treceri**	**Dimensiune** sită, mm	**Treceri**	
					Minim	Maxim
63	0,0	63	100,0	63	100,0	100,0
31,5	0,0	31,5	100,0	31,5	100,0	100,0
25	4,9	25	95,1	25	90,0	100,0
16	19,8	16	80,2	16	73,0	94,0
8	39,2	8	60,8	8	50,0	75,0
4	49,9	4	50,1	4	33,0	60,0
1	70,4	1	29,6	1	18,0	34,0
0,5	78,1	0,5	21,9	0,5	12,0	24,0
0,25	86,0	0,25	14,0	0,25	8,0	17,0
0,125	92,1	0,125	7,9	0,125	6,0	11,0
0,063	98,0	0,063	2,0	0,063	2,0	8,0

Determinarea rezistenţei la strivire pentru sort 8-32 în stare uscată și în stare saturată (conform STAS 4606-80)

Determinarea rezistenţei la strivire în stare uscată:

- masa agregatului introdus în cilindru m = 2484,1 g;
- masa agregatului ce a rămas pe ciurul 3,15 după încercare m_1 = 1823,9 g;
- rezistenţa la strivire a agregatelor în stare uscată R_c = 73,4 %.

Valoare finală **R_c = 73,4 %** **minim admis = 60 %**

Se remarcă faptul că valoarea rezistenţei la strivire în stare uscată (73,4 %) este mai mare decât valoarea minimă admisă în normative (60 %), ceea ce confirmă faptul că zgura de oțelărie sort 8-32 poate substitui cu succes agregatele naturale în straturile rutiere.

Determinarea rezistenţei la strivire în stare saturată

- masa agregatului introdus în cilindru m = 2456,6 g;
- masa agregatului ce a rămas pe ciurul 3,15 după încercare m_1 = 1826,4 g
- rezistenţa la strivire a agregatelor în stare saturată R_c = 74,3 %.

Valoare finală **R_c = 74,3 %** **minim admis = 60 %**

Se remarcă faptul că valoarea rezistenţei la strivire în stare saturată (74,3 %) este mai mare decât valoarea minimă admisă în normative (60 %), ceea ce confirmă faptul că zgura de oțelărie sort 8-32 poate substitui cu succes agregatele naturale în straturile rutiere.

Observaţie: Coeficientul de înmuiere este raportul între rezistenţa la strivire în stare saturată şi rezistenţa la strivire în stare uscată, valoarea acestuia fiind de 1,01.

Caracteristicile amestecului pentru strat fundaţie cu zgură de oţelărie sort 0-63 mm (compoziţia granulometrică, coeficientul de neuniformitate, conţinutul de impurităţi, echivalentul de nisip și uzura Los Angeles) sunt prezentate în Tabelul A 7.17 (conform STAS 730-89 şi STAS 4606-80).

Din tabelul anterior reiese faptul că valoarea coeficientului Los Angeles obținută pentru sortul 0-63 de zgură de oțelărie (27,4 %) este mai mică decât valoarea maximă admisă de SR 662 – 2002 (50 %), ceea ce confirmă faptul că zgura de oțelărie poate substitui cu succes agregatele naturale în stratul de fundație al structurilor rutiere.

Anexa 7 (continuare)

Tabelul A 7.17. Caracteristicile amestecului pentru strat fundaţie cu zgură de oţelărie sort 0-63 (sort 0-8, 8-32, și 32-63 mm)

Nr. crt.	Caracteristica	Valori		
1	Compoziţia granulometrică	⌀ sită, mm	Treceri, %	Admis SR 662
		63	100,0	100
		31,5	81,5	60-93
		25	77,1	50-90
		16	62,0	37-82
		8	45,1	25-70
		4	36,5	16-57
		1	22,4	4...38
		0,5	16,9	3,5...29
		0,25	11,6	3...20
		0,125	6,5	3...13
		0,063	1,6	1...3
		Valori obţinute	Admise SR 662 - 2002	
2	Coeficient de neuniformitate, U_n	80	min. 15	
3	Coeficientul de fracţiuni mai mici de 8 mm, % mai mici de 0,02 mm, %	 - -	 - -	
4	Conţinutul de impurităţi corpuri străine, % mică liberă, % cărbune, % humus sulfaţi (calitativ) sulfaţi (exprimaţi în SO_2)	 - - - - - -	 nu se admit - - - - -	
5	Echivalentul de nisip (EN), %	-	-	
6	Uzura Los Angeles (LA), %	27,4	max 50	

Determinarea uzurii cu maşina tip Los Angeles pentru sortul 0-63 (conform STAS 730-89) este prezentată în Tabelul A 7.18.:

Tabelul A 7.18 Determinarea uzurii Los Angeles pentru sortul 0-63

Mărimi determinate	Valori
masa iniţială a probei m_1	5000, g
masa restului pe ciurul de 1,60P după spălare şi uscare m_2	3632,1 g
Coeficientul Los Angeles	27,4 %
VALOARE MEDIE	27,4 %
maxim admis STAS 662	50%

Determinarea granulozităţii pentru sortul 0-63 (conform STAS 730-89) este prezentată în Tabelul A 7.19. Au fost utilizate două probe, cu masele de 6301,3 g și respectiv de 5000,0 g, valorile finale fiind mediile aritmetice ale valorilor parțiale obținute.

Anexa 7 (continuare)

Tabelul A 7.19. Determinarea granulozităţii pentru sortul 0-63

Proba 1					**Proba 2**				
masa probei = 6301,3 g					masa probei = 5000,0 g				
⌀ sită,	rest		treceri		⌀ sită,	rest		treceri	
mm	g	%	g	%	mm	g	%	g	%
63	0,0	0,0	6301,3	100,0	63	0,0	0,0	5000,0	100,0
31,5	1451,7	23,0	4849,6	77,0	31,5	697,3	13,9	4302,7	86,1
25	239,9	26,8	4609,7	73,2	25	254,5	19,0	4048,2	81,0
16	944,0	41,8	3665,7	58,2	16	755,8	34,2	3292,4	65,8
8	985,7	57,5	2680,0	42,5	8	910,4	52,4	2382,0	47,6
4	510,2	65,6	2169,8	34,4	4	450,1	61,4	1931,9	38,6
1	844,9	79,0	1324,9	21,0	1	747,3	76,3	1184,6	23,7
0,5	322,0	84,1	1002,9	15,9	0,5	288,3	82,1	896,3	17,9
0,25	316,4	89,1	686,5	10,9	0,25	284,3	87,8	612,0	12,2
0,125	305,6	94,0	380,9	6,0	0,125	267,6	93,1	344,4	6,9
0,063	275,8	98,3	105,1	1,7	0,063	272,4	98,6	72,0	1,4
talger	105,1	100.0	0,0	0,0	talger	72,0	100,0	0,0	0,0

Tabelul A 7.19. (continuare)

Valori medii				
masa medie = 5650,6 g				
⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%
63	0,0	0,0	5650,6	100
31,5	1074,5	18,45	4576,1	81,55
25	247,2	22.9	4328,9	77,1
16	849,9	38,0	3479,0	62,0
8	948	55	2531	45
4	480,2	63,5	2050,9	36,5
1	796,1	77,7	1254,8	22,35
0,5	305,2	83,1	949,6	16,9
0,25	300,4	88,5	649,3	6,5
0,125	286,6	93,6	362,7	6,5
0,063	274,1	98,5	88,6	1,6
talger	88,6	100,0	0,0	0,0

De asemenea, au fost determinate caracteristicile amestecului pentru strat de bază cu zgură de oţelărie sort 0-32 mm (sort 0-8 și 8-32 mm): compoziţia granulometrică, coeficientul de neuniformitate, conţinutul de impurităţi, echivalentul de nisip și uzura Los Angeles. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul A 7.20 (conform STAS 730-89 şi STAS 4606-80).

Anexa 7 (continuare)

Tabelul A5.20. Caracteristicile amestecului pentru strat de bază cu zgură de oţelărie 0-32

Nr. crt.	Caracteristica	Valori		
1	Compoziţia granulometrică	⌀ sită, mm	Treceri, %	Admis SR 662
		63	100,0	100
		31,5	81,5	100
		25	77,1	90-100
		16	62,0	73-94
		8	45,1	50-75
		4	36,5	33-60
		1	22,4	18...34
		0,5	16,9	12...24
		0,25	11,6	8...17
		0,125	6,5	6...11
		0,063	1,6	2...8
		Valori obţinute	Admise SR 662	
2	Coeficient de neuniformitate, U_n	47,1	min. 8	
3	Coeficientul de fracţiuni mai mici de 8 mm, % mai mici de 0,02 mm, %	 - -	 - -	
4	Conţinutul de impurităţi corpuri străine, % mică liberă, % cărbune, % humus, % sulfaţi (calitativ) sulfaţi (exprimaţi în SO_2)	 - - - - - -	 nu se admit - - - - -	
5	Echivalentul de nisip (EN), %	-	-	
6	Uzura la maşina Los Angeles (LA),%	27,4	max 35	

A fost determinată uzura Los Angeles pentru sortul 0-32 mm (conform STAS 730-89). Rezultatele obţinute sunt prezentate în Tabelul A 7.21:

Tabelul A 7.21. Determinarea uzurii Los Angeles pentru sortul 0-32 mm

Mărimi determinate	Valori
masa iniţială a probei m_1	5000,0 g
masa restului pe ciurul de 1,60P după spălare şi uscare m_2	3632,1g
Coeficientul Los Angeles	27,36 %
VALOARE MEDIE	27,36 %
maxim admis STAS 662	35%

Din tabelul anterior reiese faptul că valoarea coeficientului Los Angeles obţinută pentru sortul 0-32 de zgură de oţelărie (27,36 %) este mai mică decât valoarea maximă admisă de SR 662 – 2002 (35 %), ceea ce confirmă faptul că zgura de oţelărie poate substitui cu succes agregatele naturale în stratul de bază al structurilor rutiere.

Anexa 7 (continuare)

Determinarea granulozităţii pentru sortul 0-32 (conform STAS 730-89) este prezentată în Tabelul A5.22. Au fost utilizate două probe, cu masele de 6301,3 g și respectiv de 5000,0 g, valorile finale fiind mediile aritmetice ale valorilor parțiale obținute.

Tabelul A 7.22. Determinarea granulozităţii pentru sortul 0-32 mm

Proba 1					**Proba 2**				
masa probei = 6301,3 g					masa probei = 5000,0 g				
⌀ sită	rest		treceri		⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%	mm	g	%	g	%
63	0,0	0,0	5000,0	100,0	63	0,0	0,0	5000,0	100
31,5	0,0	0,0	5000,0	100,0	31,5	0,0	0,0	5000,0	100
25	275,7	5,5	4724,3	94,5	25	233,5	4,7	4766,5	95,3
16	881,2	23,1	3843,1	76,9	16	700,9	18,7	4065,6	81,3
8	998,8	43,1	2844,3	56,9	8	885,7	36,4	3179,9	63,6
4	672,1	56,6	2172,2	43,4	4	783,8	52,1	2396,1	47,9
1	873,5	74,0	1298,7	26,0	1	910,8	70,3	1485,3	29,7
0,5	309,1	80,2	989,6	19,8	0,5	391,4	78,1	1093,9	21,9
0,25	310,6	86,4	679,0	13,6	0,25	375,3	85,6	718,6	14,4
0,125	283,0	92,1	396,0	7,9	0,125	349,0	92,6	369,6	7,4
0,063	267,3	97,4	128,7	2,6	0,063	260,1	97,8	109,5	2,2
talger	128,7	100,0	0,0	0,0	talger	109,5	100,0	0,0	0,0

Tabelul A5.22. (continuare) Valorile medii calculate

Valori medii				
masa medie = 5650.65				
⌀ sită	rest		treceri	
mm	g	%	g	%
63	0,0	0,0	5000,0	100
31,5	0,0	0,0	5000,0	100
25	254,6	5,1	4745,4	94,9
16	791,1	20,9	3954,4	79,1
8	942,3	39,8	3012,1	60,2
4	728,0	54,3	2284,2	45,7
1	892,2	72,2	1392,0	27,8
0,5	350,3	79,2	1041,8	20,8
0,25	343,0	86,0	698,8	14,0
0,125	316,0	92,3	382,8	7,7
0,063	263,7	97,6	119,1	2,4
talger	119,1	100,0	0,0	0,0

Anexa 8 Compozițiile granulometrice pentru toate rețetele analizate, compozițiile granulometrice ale amestecurilor de agregate, valorile caracteristicilor fizico - mecanice determinate pe epruvete cubice și cilindrice confecționate din mixturile preparate cu diferite procente de bitum și variația umflării în timp a epruvetelor (cubice si cilindrice)

Tabelul A 8.1. Caracteristicile agregatelor și amestecurilor de agregate (seriile I și II)

Aggregate	Trecut % prin ciur (sită), mm :									
	16	10	8	5	3	1	0,63	0,2	0,09	0,071
Lidonit 8-16	100,00	34,53	6,47	0,91	0,37	-	-	-	-	-
Lidonit 5-8	-	100,00	83,87	44,59	7,79	2,81	2,07	1,42	0,87	0,65
Lidonit 0-5	-	-	-	100,00	89,47	39,18	26,06	11,57	5,95	4,23
Nisip natural 0-7 (I)	-	-	100,00	99,06	98,43	86,84	82,63	17,34	1,93	0,86
Nisip natural 0-7 (II)	-	-	100,00	98,38	96,36	57,88	43,14	6,06	0,54	0,16
Filer de calcar (I)	-	-	-	-	-	-	100,00	97,45	83,43	68,80
Filer de calcar (II)	-	-	-	-	-	-	100,00	97,89	84,77	67,44
BA 8 seria I										
Lidonit 5-8 = 50,00 %										
Lidonit 0-5 = 10,00 %										
Nisip natural 0-7 (I) = 28,00 %										
Filer de calcar (I) = 12,00 %										
TOTAL agregate = 100,00 %										
Curba granulometrică	-	100,00	91,94	72,04	52,41	41,65	38,79	18,42	11,59	9,25
BA 16 seria II										
Lidonit 8-16 = 40,00 %										
Lidonit 5-8 = 20,00 %										
Lidonit 0-5 = 10,00 %										
Nisip natural 0-7 (II) = 18,00 %										
Filer de calcar (II) = 12,00 %										
TOTAL agregate = 100,00 %										
Curba granulometrică	100,00	73,18	61,36	48,99	40,00	26,90	22,79	14,28	11,04	8,67

Anexa 8 (continuare)

Tabelul A 8.2. Valorile caracteristicilor fizico - mecanice pentru mixturile din seriile I și II

Nr.	Tip mixtură	Procent bitum,%	ρ_{acub} / ρ_{acil}	Absorb. Volum %	Umflare la 28 zile, volum %	Rezistență la compresiune N/mm^2, la:				Încercare Marshall		
						22°C	50°C	K_T	Red. R_{c22}^{28} %	S, kN	I, mm	S/I, kN/mm
1	BA 8	6,50	2.447 / 2.384	6,393 / 6,903	0,000 / 0,179	3,463	1,289	2,687	6,09	13,1	2,00	6,55
2		6,75	2.435 / 2.442	5,457 / 5,921	0,000 / 0,668	3,899	1,441	2,757	8,21	10,9	2,38	4,58
3		7,00	2.469 / 2.486	3,642 / 3,061	0,000 / 0,937	3,935	1,435	2,742	3,05	12,9	2,87	4,50
4		7,25	2.492 / 2.510	3,669 / 1,629	0,000 / 0,059	3,675	1,306	2,814	0,00	12,3	3,60	3,32
5		7,50	2.468 / 2.477	3,518 / 1,521	0,000 / 0,000	3,008	1,009	2,981	0,00	10,9	3,75	2,91
6	BA16	5,75	2,540 / 2,634	5,048 / 2,146	0,872 / 0,314	2,932	0,834	3,516	9,11	10,4	2,95	3,53
7		6,00	2,544 / 2,638	4,900 / 1,522	0,490 / 0,177	3,131	0,823	3,804	6,70	8,7	3,05	2,85
8		6,25	2,598 / 2,658	3,092 / 1,010	0,181 / 0,083	3,079	0,854	3,610	4,32	9,3	3,40	2,74
9		6,50	2,608 / 2,644	2,633 / 0,769	0,000 / 0,000	2,720	0,664	4,096	0,90	9,0	3,87	2,33
10		6,75	2,633 / 2,659	0,779 / 0,218	0,000 / 0,000	2,234	0,647	3,453	0,00	8,4	4,05	2,07

Tabelul A 8.3. Variația umflării în timp a epruvetelor cubice

Tip mixtură	Procent bitum	Epruvete □ cubice ○cilindrice	Nr. zile				
			7	14	21	28	Red. R_{c22}^{28}, %
Seria I							
BA 8	6,50	□	0,000	0,156	0,000	0,000	6,09
		○	0,000	0,000	0,000	0,179	
	6,75	□	0,000	0,000	0,000	0.000	8,21
		○	0,000	0,295	0,422	0,668	
	7,00	□	0,000	0,000	0,000	0,000	3,05
		○	0,000	0,658	0,130	0,937	
	7,25	□	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		○	0,000	0,000	0,000	0,059	
	7,50	□	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		○	0,000	0,000	0,000	0,000	
Seria II							
BA 16	5,75	□	0,000	0,000	0,096	0,387	9,28
		○	0,000	0,000	0,000	0,000	
	6,25	□	0,208	0,000	0,011	0,044	6,37
		○	0,000	0,295	0,422	0,010	
	6,50	□	0,000	0,089	0,000	0,000	1,32
		○	0,000	0,658	0,130	0,000	
	6,75	□	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		○	0,000	0,000	0,000	0,000	
	6,00	□	0,059	0,059	0,063	0,079	9,48
		○	0,020	0,000	0,000	0,000	

Anexa 8 (continuare)

Tabelul A 8.4. Caracteristicile agregatelor și amestecurilor de agregate (seriile III și IV)

Aggregate	Trecut % prin ciur (sită), mm :									
	16	10	8	5	3	1	0,63	0,2	0,09	0,071
Lidonit 8-16	100,00	45,48	8,39	0,29	-	-	-	-	-	-
Lidonit 4-8	-	100,00	86,30	6,52	0,72	0,42	-	-	-	-
Nisip concasare 0-4	-	-	100,00	97,52	69,72	44,31	28,30	5,50	1,99	1,44
Nisip natural 0-4	-	-	100,00	94,47	80,77	60,96	47,96	8,83	2,08	1,36
Filer de calcar	-	-	-	-	-	-	100,00	97,30	77,85	64,88
BA 8 seria III										
Lidonit 4-8 = 45,00 %										
Nisip concasare 0-4 = 20,00 %										
Nisip natural 0-4 = 23,00 %										
Filer de calcar = 12,00 %										
TOTAL agregate = 100,00 %										
Curba granulometrică	-	100,00	93,84	56,16	44,84	35,07	28,69	14,81	10,22	8,39
BA 16 seria IV										
Lidonit 8-16 = 35,00 %										
Lidonit 4-8 = 20,00 %										
Nisip concasare 0-4 = 15,00 %										
Nisip natural 0-4 = 18,00 %										
Filer de calcar = 12,00 %										
TOTAL agregate = 100,00 %										
Curba granulometrică	100,00	80,92	65,20	45,03	37,14	29,70	24,88	14,10	10,01	8,25

Tabelul A 8.5. Caracteristicile fizico - mecanice ale mixturilor determinate pe epruvete cilindrice (seriile III şi IV)

BA 8 (seriile III şi IV)						
Procent bitum, %	Tipul de bitum	ρ_a, Kg/m^3	Absorbtie volum, %	S, KN	I, m	S/I, KN/m
4,75	D60/80	2,538	5,211	10,6	2,67	3,970
	D80/100	2,571	4,283	8,5	1,76	4,830
5,00	D60/80	2,553	4,071	9,4	2,68	3,507
	D80/100	2,585	3,242	8,8	2,00	4,400
5,25	D60/80	2,576	3,027	8,2	2,75	2,982
	D80/100	2,593	3,060	8,3	2,40	3,458
5,50	D60/80	2,587	2,243	8,3	2,80	2,964
	D80/100	2,616	1,846	9,1	2,78	3,273
5,75	D60/80	2,591	1,137	9,7	3,54	2,740
	D80/100	2,622	1,066	9,6	3,15	3,048
6,00	D60/80	2,606	0,344	9,2	3,73	2,466
	D80/100	2,613	0,681	7,8	3,52	2,216
BA 16 (seriile III şi IV)						
Procent bitum, %	Tipul de bitum	ρ_a, Kg/m^3	Absorbtie volum, %	S, KN	I, m	S/I, KN/m
4,00	D60/80	2,701	4,075	15,7	1,85	8,486
	D80/100	2,735	3,073	11,8	2,70	4,370
4,25	D60/80	2,711	2,239	11,9	2,40	4,958
	D80/100	2,751	2,939	11,8	3,05	3,869
4,50	D60/80	2,740	1,299	10,6	2,50	4,240
	D80/100	2,754	2,076	9,9	2,95	3,356
4,75	D60/80	2,751	0,279	11,3	2,63	4,297
	D80/100	2,757	0,808	12,9	3,26	3,957
5,00	D60/80	2,759	0,146	12,1	3,05	3,967
	D80/100	2,754	0,405	9,9	3,30	3,000
5,25	D60/80	2,745	0,000	10,8	3,24	3,333
	D80/100	2,753	0,302	9,9	3,62	2,753

Tabelul A 8.6. Variația umflării în timp a epruvetelor cilindrice

BA 8 (seria III)					
Procentaj de bitum,%	Tip bitum	Umflarea la ..., zile			
		7	14	21	28
4,75	D 60/80	0,000	0,140	0,432	0,346
4,75	D 80/100	0,000	0,079	0,000	0,072
5,00	D 60/80	0,000	0,007	0,013	0,027
5,00	D 80/100	0,000	0,000	0,000	0,668
5,25	D 60/80	0,000	0,000	0,081	0,000
5,25	D80/100	0,093	0,093	0,000	0,093
5,50	D 60/80	0,000	0,000	0,013	0,000
5,50	D80/100	0,013	0,020	0,000	0,013
5,75	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
5,75	D80/100	0,033	0,153	0,265	0,033
6,00	D 60/80	0,000	0,020	0,046	0,000
6,00	D80/100	0,000	0,033	0,000	0,000
BA 16 (seria IV)					
Procentaj de bitum,%	Tip bitum	Umflarea la , zile			
		7	14	21	28
4,00	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
4,00	D80/100	0,000	0,000	0,175	0,000
4,25	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
4,25	D80/100	0,040	0,322	0,060	0,294
4,50	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
4,50	D80/100	0,069	0,352	0,000	0,155
4,75	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
4,75	D80/100	0,007	0,357	0,000	0,000
5,00	D 60/80	0,020	0,000	0,000	0,007
5,00	D80/100	0,093	0,285	0,027	0,000
5,25	D 60/80	0,000	0,000	0,000	0,000
5,25	D80/100	0,000	0,000	0,020	0,000

Declaraţia privind asumarea răspunderii

Subsemnatul, declar pe propria răspundere că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări şi realizări ştiinţifice. Sunt conştient de faptul că, în caz contrar, urmează să suport consecinţele în conformitate cu legislaţia în vigoare.

Chiricuță Ion

20.01.2025

Curriculum vitae Europass

Informaţii personale

Nume / Prenume	Chiricuță Ion
Adresă(e)	Bd. Ferdinand I, nr. 176, Bloc T2, Et.3, ap. 14, sect. 2, Bucureşti, cod poștal 021398, România
Telefon(oane)	Mobil: (+40) 723672369, Fix (+40) 216422691
Fax(uri)	
E-mail(uri)	ionkiri@yahoo.com
Naţionalitatea	română
Data naşterii	01.06.1971
Sex	Masculin
Locul de muncă vizat / Domeniul ocupaţional	**Inspectoratul de Stat in Construcţii - I.S.C. Serviciul Sesizări**

Experienţa profesională

Perioada	Feb. 2007 - prezent
Funcţia sau postul ocupat	Inspector în construcții

Activităţi şi responsabilităţi principale	Controlul statului în activitatea de construcții
Numele şi adresa angajatorului	Inspectoratul de Stat in Construcţii - I.S.C. .
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	
Perioada	2005 – 2007
Funcţia sau postul ocupat	inginer
Activităţi şi responsabilităţi principale	responsabil cu calitatea materialelor şi a utilajelor de prelucrare
Numele şi adresa angajatorului	S.C. Alga Cristal S.R.L. București
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	Prelucrare pietre ornamentale
Perioada	2000-2004
Funcţia sau postul ocupat	inginer coordonator
Activităţi şi responsabilităţi principale	Ajutor şef de şantier - cladire birouri + depozit vamă Şef de şantier - hotel P+2E+M
Numele şi adresa angajatorului	S.C. Axa S.R.L. București
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	Execuţie construcţii civile
Perioada	2000
Funcţia sau postul ocupat	inginer
Activităţi şi responsabilităţi principale	traducerea din limba engleză a specificaţiilor tehnice, supraveghere execuţie încalzire prin pardoseală
Numele şi adresa angajatorului	S.C. Romexim S.R.L.București
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	Import materiale speciale de construcţii din SUA şi instalaţii termice
Perioada	1999- 2000
Funcţia sau postul ocupat	Inginer stagiar
Activităţi şi responsabilităţi principale	Ajutor şef de şantier
Numele şi adresa angajatorului	S.C. Erbaşu S.A. București
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	Execuţie construcţii civile

Educaţie şi formare	
Perioada	1999
Calificarea / diploma obţinută	
Disciplinele principale studiate / competenţe profesionale dobândite	Bursă Socrates pe o perioadă de 3 luni
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ / furnizorului de formare	Universitatea Tehnică din Lisabona
Nivelul în clasificarea naţională sau internaţională	
Perioada	1999
Calificarea / diploma obţinută	Studii aprofundate
Disciplinele principale studiate / competenţe profesionale dobândite	Tehnologii Speciale în Construcţii
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ / furnizorului de formare	Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti
Nivelul în clasificarea naţională sau internaţională	
Perioada	1994 -1998
Calificarea / diploma obţinută	Inginer constructor
Disciplinele principale studiate / competenţe profesionale dobândite	Execuția lucrărilor de construcții
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ / furnizorului de formare	Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Departamentul de Engleză, Secţia Management
Nivelul în clasificarea naţională sau internaţională	
Limba(i) maternă(e)	Română
Limba(i) străină(e) cunoscută(e)	

Autoevaluare	Înţelegere				Vorbire				Scriere	
Nivel european (*)	Ascultare		Citire		Participare la conversaţie		Discurs oral		Exprimare scrisă	
Engleza	C2	Nivelul Avansat sau Independent	C2	Nivelul Avansat sau Independent	C2	Nivelul Avansat sau Independent	C2	Nivelul Avansat sau Independent	C2	Nivelul Avansat sau Independent
Rusa	B1	Nivelul Stăpânire	B1	Nivelul Stăpânire	B1	Nivelul Stăpânire	B1	Nivelul Stăpânire	B1	Nivelul Stăpânire
Thailandeza	A1		A1		A1		A1		A1	

(*) Nivelul Cadrului European Comun de Referinţă Pentru Limbi Străine

Competenţe şi abilităţi sociale	Sociabil, spirit de echipă, comunicabil, sârguincios, punctual.
Competenţe şi aptitudini organizatorice	Experiență bună în conducerea și dirijarea colectivelor, echipelor, grupurilor.
Competenţe şi aptitudini tehnice	Nivel profesional înalt în domeniul construcțiilor
Competenţe şi aptitudini de utilizare a calculatorului	cunoștințe Word, Powerpoint